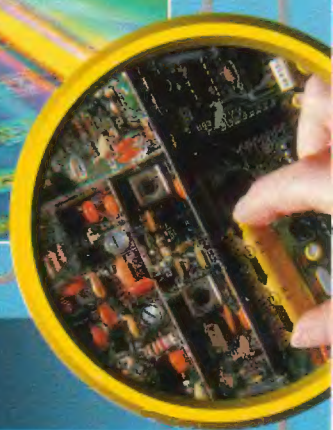
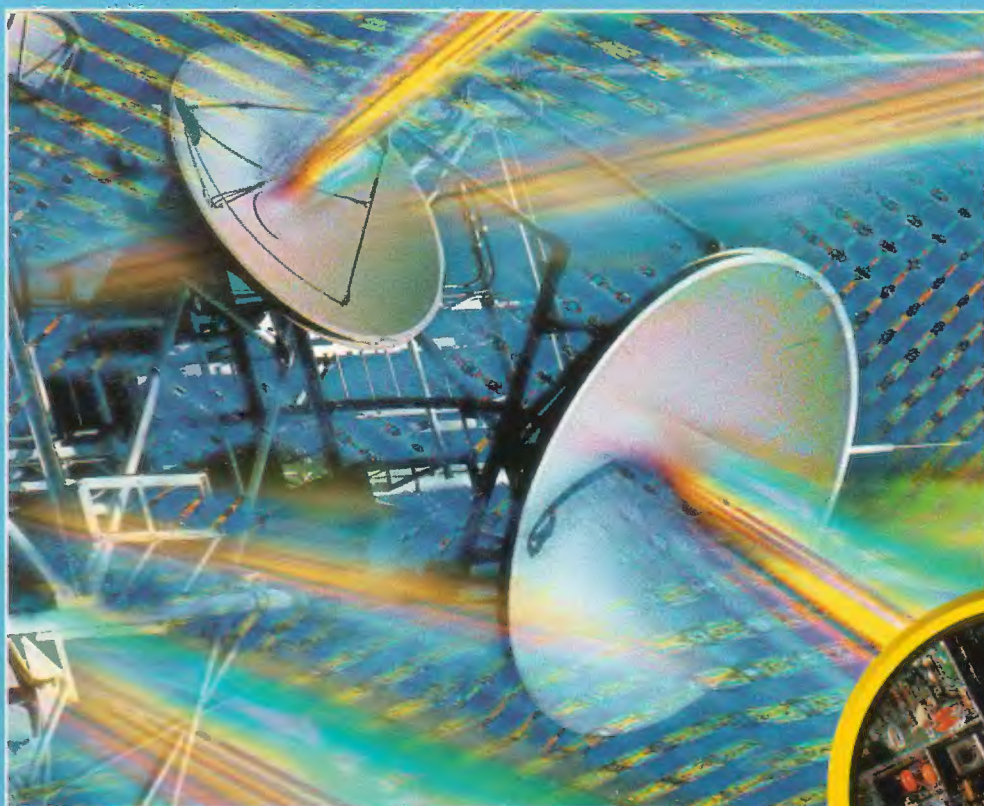


И.Н.ГРИГОРОВ

АНТЕННЫ

НАСТРОЙКА И СОГЛАСОВАНИЕ



КНИЖНАЯ ПОЛКА
РАДИОЛЮБИТЕЛЯ

Рассматриваются условия эффективной работы любой антенны. Приводятся схемы и практические конструкции приборов и устройств, а также методики настройки, позволяющие с наибольшей эффективностью обеспечить работу антенны на любительских ДВ (136 кГц), КВ (27 МГц) и УКВ (50 и 144 МГц) диапазонах.

Книга предназначена для подготовленных радиолюбителей, в практической деятельности которых значительное внимание уделяется вопросам конструирования антенных систем, согласования антенн с выходными каскадами передающих устройств и их настройки на нужный диапазон работы.

Григоров И. Н.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От издательства	7
-----------------------	---

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ОКРУЖЕНИЕ АНТЕНН

Глава 1. Заземление антенн	8
Глава 2. Симметрирующие-трансформирующие устройств	24
Глава 3. Антенные изоляторы	41
Глава 4. Линии передачи	47
Глава 5. Коммутационные устройства антенн	55
Глава 6. Полезные мелочи	60

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ПРИБОРЫ ДЛЯ НАСТРОЙКИ АНТЕНН

Глава 7. Измерение высокочастотного напряжения	75
Глава 8. Измерение высокочастотного тока	78
Глава 9. Измерение мощности	84
Глава 10. Измерение напряженности электромагнитного поля в радио- любительской практике	92
Глава 11. КСВ-метры на направленных ответвителях	106
Глава 12. Мостовые измерители сопротивления	122
Глава 13. Высокочастотные генераторы для измерительных мостов	131
Глава 14. Шумовой мост	143
Глава 15. Гетеродинный индикатор резонанса	150
Глава 16. Измеритель амплитудно-частотных характеристик в настройке антенн	167

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

СОГЛАСУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Глава 17. Общие вопросы согласования	172
Глава 18. Согласующие устройства КВ диапазона	182
Глава 19. Согласующее устройство диапазона 136 кГц	196
Глава 20. Согласующие устройства Си-Би диапазона	202
Глава 21. Согласующие устройства диапазонв 50 МГц	204
Глава 22. Согласующие устройства диапазона 144 МГц	206
Приложение 1. Диапазоны частот и виды радиосвязи, разрешенные лю- бительским радиостанциям. Частоты телевизионных каналов	213
Приложение 2. Шкалы РСТ и РСМ. Коды в радиосвязи. Фонетические алфавиты	221
Приложение 3. Параметры мощных генераторных ламп, мощных бипо- лярных и полевых транзисторов, модулей усилителей мощности	229

Приложение 4. Ферритовые изделия	251
Приложение 5. Коаксиальные кабели	254
Приложение 6. Таблицы децибел	259
Приложение 7. Полезные сведения	262
Приложение 8. Адреса журналов	269

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Эффективность работы в эфире любительской радиостанции во многом определяется втеной. Можно приобрести солидный зарубежный трансивер или использовать мощный усилитель, но если при этом антенна будет иметь малую эффективность, то все эти меры не принесут желаемых результатов. Наоборот, используя «не-солидную» самодельную аппаратуру, но эффективные антенны, можно проводить связи со всеми странами мира.

Но не спешите делать очередную «суперэффективную» антенну или приобретать дорогую антенну известных фирм. Любая антенна нуждается в настройке. К сожалению, радиолюбители не уделяют этому должного внимания. Вместо настройки антенны в резонанс, которая часто не очень сложна, радиолюбители увеличивают выходную мощность передатчика или повышают чувствительность приемника.

Для хорошей настройки антенн необходимы измерительные приборы; некоторые из них радиолюбители могут сделать самостоятельно.

В этой книге автор делится с читателями своим многолетним практическим опытом по настройке антенн. Им изготовлено множество оригинальных конструкций и опробованы конструкции антенн и измерительных приборов для их настройки других радиолюбителей. В результате были определены и предлагаются здесь вниманию читателей наиболее оптимальные конструкции антенн для различных диапазонов радиосвязи, способы их питания, согласования, настройки. Большую помощь в этом окажут приведенные в книге схемы и конструкции приборов и устройств для настройки антенн, измерения их параметров. Используя эти приборы, а также описанные здесь методики настройки с их помощью, можно достичь высокой эффективности Вашей антенны даже при небольшой мощности передатчика.

Часто при конструировании, наладке и испытаниях антенн необходимо навести справку о параметрах детали, рассчитать конструктивные данные и параметры какой-либо самодельной радиодетали, узнать или рассчитать какую-то величину. Для этого необходимо под рукой иметь массу справочной литературы. Но и не всегда удобно пользоваться имеющейся литературой. Если же эксперименты с антеннами производятся на даче, в радиолюбительской экспедиции, то такой справочной литературы просто нет в наличии.

Подобный материал справочного характера из различных источников систематизирован и представлен в виде приложений в конце книги. Надеемся, он окажет читателям неоценимую помощь.

Желаем успехов!

ОКРУЖЕНИЕ АНТЕНН

При изготовлении антенны следует учитывать многие мелочи, на которые радиоприемники часто не обращают должного внимания. Прежде всего, антенну необходимо правильно разместить в пространстве, использовать для ее подвеса изоляторы, которые выдержат ее вес и напряжение на концах.

Эффективность работы антенны зависит от материала, из которого она выполнена. Для некоторых типов антенн большое значение имеет выполненное соответствующим образом заземление. Кроме того, необходимо осуществлять правильное питание симметричных антенн — как низкоомных, так и высокоомных.

Ниже будут рассмотрены коммутационные устройства антенн, которые значительно облегчают работу радиостанции с несколькими антеннами, и некоторые специфические вопросы, связанные с фидерами антенн.

Большое значение для работы антенн с трансформаторным питанием имеет конструкция самого трансформатора.

Все эти вопросы, а также «Полезные мелочи», способные облегчить процесс настройки антенн и ее эксплуатацию, рассмотрены в данной части.

ГЛАВА 1

ЗАЗЕМЛЕНИЕ АНТЕНН

Любая антенна подключается к генератору-передатчику двумя контактами. Симметричные антенны подключаются к генератору непосредственно. Для несимметричных антенн одним из контактов подключения является «земля». Так что же такое заземление, или как его еще называют, «земля» антенны?

Первым применил заземление для антенны Гульельмо Маркони [1] во время проведения опытов по радиосвязи в сентябре 1895 г. Большую металлическую пластину он положил на поверхность земли и соединил ее с одним из выводов высокочастотного генератора. К другому выводу он подключил антенну. В результате дальность связи увеличилась с нескольких сотен метров до километра.

Дальнейшее усовершенствование ранних антенных систем шло двумя путями: первый — поднять как можно выше излучающий антенный провод; второй — использовать эффективную заземляющую систему.

В работе антенн различных типов важную роль играет поверхность земли. Это может быть почва, над которой находится антенна, и радиотехническая «земля» — искусственно созданная путем металлизации проводящая поверхность под антенной. Ниже будут рассмотрены принципы работы устройства заземления и конструктивное его выполнение в радиоприемных условиях.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И РАДИОТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ АНТЕНН

Заземление антенн может быть электротехническим и радиотехническим. Классическое электротехническое заземление — это закопанное в землю на глубину 1...1,5 м металлическое ведро или забитый в нее на такую же глубину металлический стержень (рис. 1.1). Это заземление описано во многих источниках и является классическим выполнением радиоприемного заземления.

Но это заземление является только электротехническим (да и то не очень высокого качества) и вероятнее всего будет плохим радиотехническим заземлением, которое наиболее важно для антенны. Работа заземления, показанного на рис. 1.1, основывается на том, что на глубине 1...2 м от поверхности земли постоянно существует слой влажной проводящей почвы.

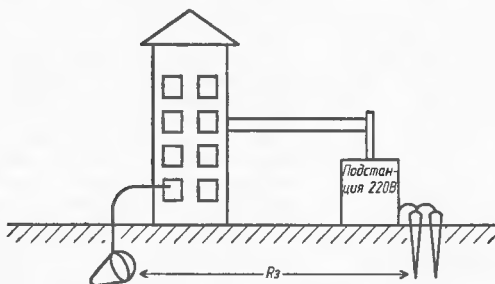


Рис. 1.1. Классическое выполнение радилюбительского заземления

На электрических подстанциях при передаче электроэнергии один из проводов электрической сети, называемый нулевым, также заземляют, используя заземляющее устройство из 5...10 штырей, забитых в землю на глубину 3 м и соединенных между собой. Хотя передача электроэнергии в быту и осуществляется по двум проводам — фазному и нулевому, нулевой провод все равно заземляется через контур, подобный тому, как делают на подстанциях в месте потребителя энергии — в жилом доме, на предприятиях. Подобное устройство необходимо для обеспечения безопасности заземляется и при замыкании фазного провода электрической сети на корпус этого устройства исключается поражение током персонала, обслуживающего это устройство. Следует обратить внимание, что такая защита не всегда действует эффективно. Может возникнуть шаговое напряжение при замыкании фазы на корпус электротехнического устройства, которое также может служить причиной поражения персонала током.

В любом случае чем меньше сопротивление заземления R_z между электротехнической землей потребителя и подстанцией, тем лучше его качество.

РАДИОТЕХНИЧЕСКАЯ «ЗЕМЛЯ» АНТЕНН

Любой потребитель электроэнергии подключается к генератору как минимум двумя контактами. То же самое относится и к антеннам. Симметричная дипольная антенна имеет две точки подключения к генератору (рис. 1.2). Благодаря токам смещения, которые протекают между различными точками антенны [2], и происходит излучение электромагнитной волны.

Что же произойдет, если мы подключим несимметричную антенну (например, длинный горизонтальный или вертикальный провод) к генератору (рис. 1.3)? При излучении антенны токи смещения будут протекать между полотном антенны и поверхностью земли, с которой через емкость корпуса C на землю связан генератор. Для увеличения эффективности работы антенной системы необходимо заменить емкость генератора на землю простой перемычкой, т. е. осуществить заземление антенны (рис. 1.4). Но как это сделать наиболее эффективно?

Первыми антеннами радиостанций, которые работали в диапазонах сверхдлинных и длинных волн, были несимметричные вертикальные антенны; они требовали для своей работы надежного заземления. Именно в начале XX века была разработана

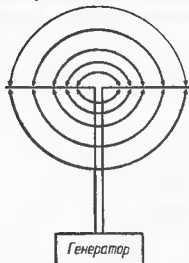


Рис. 1.2. Подключение симметричной антенны к генератору

теория заземления антенн, которая до настоящего времени практически не претерпела изменений, испытаны практические конструкции заземлений, которыми мы пользуемся до сих пор. Вот как описывал работу заземляющей системы

Георг Браун в своей классической работе, посвященной заземлению вертикальных антенн и опубликованной в 1935 г. «При работе антенны на передачу токи проводимости, протекающие по антенне, переходят в пространство. Земля антенны обеспечивает возврат этих токов обратно в передатчик. В том случае, если земля не является идеальным проводником, некоторая часть токов будет рассеяна в поверхности земли» [3]. Из этого понятна конструкция радиотехнической земли. Она должна обеспечивать поверхность, находящуюся непосредственно вокруг основания антенны, малым сопротивлением токам высокой частоты.

Теперь снова обратимся к рис. 1.1. Возможно, что влажная почва на глубине 1,5 м и будет обладать низким сопротивлением высокочастотным токам, наведенным антенной; при этом электромагнитная волна должна пройти слой почвы, который ее значительно ослабит. Нелишне напоминать, что во многих регионах России почвы обладают малой проводимостью, так что подобное устройство заземления никак нельзя отнести к радиотехническому заземлению.

При создании в начале XX века первых антенных систем, в которых использовалось заземление, сначала пытались забивать заземляющие штыри как можно глубже в землю, затем штыри соединяли между собой металлической сеткой.

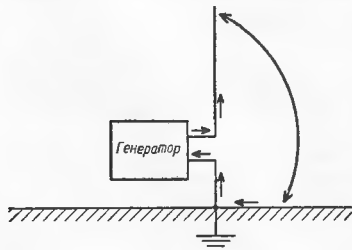


Рис. 1.4. Заземление несимметричной антенны

теория заземления антенн, которая до настоящего времени практически не претерпела изменений, испытаны практические конструкции заземлений, которыми мы пользуемся до сих пор. Вот как описывал работу заземляющей системы Георг Браун в своей классической работе, посвященной заземлению вертикальных антенн и опубликованной в 1935 г. «При работе антенны на передачу токи проводимости, протекающие по антенне, переходят в пространство. Земля антенны обеспечивает возврат этих токов обратно в передатчик. В том случае, если земля не является идеальным проводником, некоторая часть токов будет рассеяна в поверхности земли» [3]. Из этого понятна конструкция радиотехнической земли. Она должна обеспечивать поверхность, находящуюся непосредственно вокруг основания антенны, малым сопротивлением токам высокой частоты.

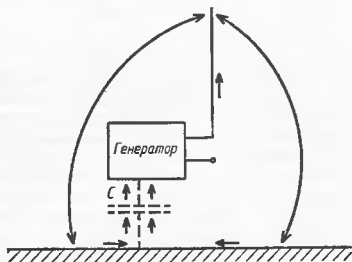


Рис. 1.3. Подключение несимметричной антенны к генератору

Именно в России при построении антенн передающих станций в условиях крайнего севера отказались от забивки глубоких заземляющих стержней и ограничились металлической сеткой, размещенной в основаниях антенн. Такая конструкция заземления обеспечивала эффективную работу антенн.

Конечно, в первых передатчиках, работающих на частотах до 50 кГц, слабо поглощающихся в верхнем слое сухой почвы, и при расположении радиостанций на побережье

моря или в районах с высокой проводимостью почвы на небольшой глубине забитые в землю штыри не обеспечивали достаточной эффективности антенных систем.

РОЛЬ ПРОВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В РАБОТЕ АНТЕНН

Как было показано выше, *проводящая поверхность земли необходима для работы несимметричной антенны*. Но она необходима также для работы дипольных антенн и любых несимметричных антенн, имеющих свою собственную радиотехническую «землю» и расположенных на некоторой высоте от поверхности земли.

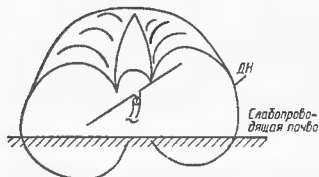


Рис. 1.5. Диаграмма направленности диполя, расположенного над слабопроводящей почвой

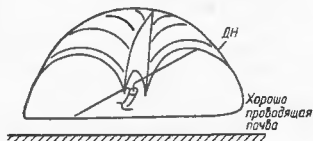


Рис. 1.6. Диаграмма направленности диполя, расположенного над хорошо проводящей почвой

Рассмотрим дипольную антенну, расположенную над поверхностью земли. Диаграмма направленности диполя, расположенного в свободном пространстве, представляет собой тороид. При работе такой антенны на передачу верхняя часть электромагнитной энергии из диаграммы направленности тороида будет распространяться вверх к ионосфере и затем отражаться от нее. Нижняя часть тороида диаграммы направленности будет распространяться в приповерхностных слоях земли. Если почва обладает большим сопротивлением потерь, электромагнитная энергия просто рассеется в земле и не будет участвовать в процессе радиосвязи (рис. 1.5). При увеличении проводимости почвы, часть электромагнитной волны отражается от ее поверхности, в результате чего увеличивается мощность, излучаемая в свободное пространство. *Диаграмма направленности диполя в вертикальной плоскости среза превращается из круговой, как показано на рис. 1.6, в овальную*. Для увеличения излучаемой мощности в свободное пространство на передающих центрах проводят *металлизацию поверхности под дипольными антеннами*. Металлизация осуществляется с помощью провода диаметром 6...10 мм, расположенного под антенной в виде сетки с ячейками со стороной 0,2...1 м в зависимости от диапазона длин волн. Часто провода, образующие эти ячейки, сваривают между собой в углах ячеек.

При расположении вертикальной антенны на некоторой высоте проводящая поверхность земли также играет важную роль в работе антенны. Во-первых, отраженная от поверхности земли волна складывается с прямой излучае-

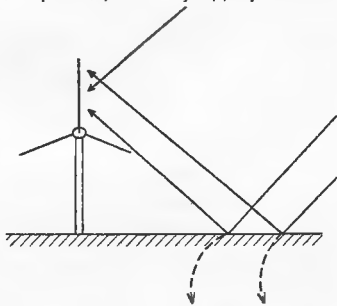


Рис. 1.7. Расположение вертикальной антенны

мой волной, что приводит к увеличению излучаемой антенной мощности. При работе антенны на прием часть энергии электромагнитной волны поступает в антенну непосредственно при отражении от ионосферы или прямым лучем, а часть энергии поступает в антенну, отразившись от земли, как показано на рис. 1.7.

Влияние проводящей поверхности земли на работу антенн, как правило, учитывается при их конструировании. В этой связи стоит упомянуть антенны УКВ-тропосферных станций. Для работы этих станций необходимо положение главного лепестка диаграммы направленности под углом 45 угл град к горизонту. Такое расположение имеет лепесток диаграммы направленности трехэлементного волнового канала, расположенного на высоте $\lambda/2$ под проводящим экраном. В результате антенные системы этих станций часто представляют поля таких волновых каналов, соединенных через соответствующие устройства деления мощности с передатчиком и приемником станции. Под этими антеннами и проводят металлизацию земли.

Радиолюбители крайне редко используют металлизацию земной поверхности под дипольными антеннами и под высоко расположенными вертикальными антеннами ввиду сложности конструкции. Экран, полученный при металлизации поверхности почвы, может не иметь электрического контакта с «землей» передатчика. Это никак не сказывается на работе антенной системы.

ВЛИЯНИЕ ПРОВОДИМОСТИ ЗЕМЛИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

На коротких волнах дальнейшее распространение радиоволн иногда осуществляется за счет многократного отражения их от ионосферы и поверхности земли, как показано на рис. 1.8. Если ионосферу часто можно принять идеальной отражающей поверхностью, то этого нельзя сказать о поверхности земли [4]. Но отражающие и проводящие свойства земли очень важны для работы дальних трасс связи. Чем меньше проводимость почвы и, следовательно, чем больше потери в ней, тем меньший уровень мощности радиосигнала будет отражен. Наилучшей проводимостью обладает морская вода, затем влажные солончаковые почвы, пресные озера, чернозем. Большие потери происходят в суглинках, песках, в горных породах. Наибольшие потери происходят при отражении радиоволн от поверхностей, занятых городами. Высотные здания не только поглощают, но и рассеивают электромагнитные волны. В результате отраженная составляющая резко уменьшается.

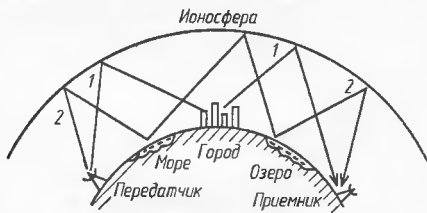


Рис. 1.8. Распространение ионосферных волн

На рис. 1.8 показано как радиоволна может прийти к приемнику двумя путями. Первый путь, когда радиоволна испытывает одно отражение от поверхности, занятой городом, и второй путь, когда волна претерпевает два отражения: одно — от морской поверхности, другое — от поверхности озера. Расчеты, проведенные согласно методикам [4] показывают, что при распространении по первому пути радиоволна будет испытывать гораздо большее затухание, чем при распространении по второму, более длинному пути.

Радиолюбители, работающие в эфире, знакомы с этим явлением. Станции, расположенные на берегах морей и океанов или в непосредственной близости от них, могут проводить сеансы связи с аналогичными станциями, расположенными на противоположных берегах морей и океанов, а также с островами, используя передатчики с незначительной мощностью. Но чем дальше в глубине континента расположена радиостанция, тем больший уровень мощности и более эффективные антенны приходится использовать для дальних связей. Это связано с сильным поглощением радиоволн при отражении их от поверхностей земли, особенно занятых городами.

Сложно проводить связи с местностями, если зоны промежуточных отражений лежат в горных районах. В то же время, легко осуществить связь на дальние расстояния, если зоны промежуточных отражений лежат на морской поверхности. В радиолобительской литературе неоднократно описывались примеры проведения радиосвязей, когда антенна была направлена в противоположную сторону от корреспондента, как показано на рис. 1.9. В этом случае трасса проходила по территории с более высокой проводимостью почвы, а использование для связи, казалось бы, прямого, оптимального направления антенн ввиду сильного поглощения радиоволн при промежуточном отражении от земли, было невозможно.

В частности, этими эффектами объясняются некоторые парадоксальные, казалось бы, ситуации — когда при использовании суррогатной антенны, излучающей под большими углами к горизонту, удаются дальние связи, а при использовании эффективных антенн, излучающих под малыми углами к горизонту и направленных на корреспондентов, слышимость ухудшается.

К сожалению, радиолюбитель не имеет возможности сменить место проживания из одного региона в другой, более подходящий для проведения радиосвязей. Карта местности с обозначением типов почв или их проводимости и расположением городов, знание диаграммы направленности антенн и условий распространения радиоволн позволят коротковолновикам выбрать наиболее подходящее для установления дальних связей диапазоны и типы антенн. Но остается еще один вариант — улучшение «земли» конкретной антенны для увеличения эффективности ее работы.

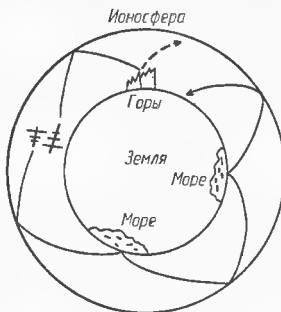


Рис. 1.9. Связь с использованием короткого и длинного пути

«ЗЕМЛЯ» НЕСИММЕТРИЧНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ АНТЕНН, РАСПОЛОЖЕННЫХ НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗЕМЛИ

В том случае, если несимметричная вертикальная антенна находится над поверхностью земли на высоте не менее $\lambda/2$, взаимодействие токов смещения осуществляется, в основном, с ее противовесами. Взаимодействие токов смещения с реальной землей в этом случае ничтожно мало и им можно пренебречь. Для определения КПД несимметричной вертикальной антенны с фиксированным количеством противовесов будем полагать, что сопротивление излучения идеальной вертикальной четвертьволновой антенны, расположенной над идеальной проводящей поверхностью, составляет 36 Ом. В этом случае, экспериментально определив входное сопротивление антенны и сравнив его с теоретическим сопротивлением излучения, можно судить о КПД антенны. Для четвертьволнового несимметричного вибратора, расположенного над идеальной проводящей поверхностью, оно равно 36 Ом. Если входное сопротив-

ление четвертьволновой несимметричной антенны превышает это значение, то в это сопротивление вносится активное сопротивление потерь в ее заземляющей системе. Очевидно, что при одинаковой подводимой мощности к вертикальной несимметричной четвертьволновой антенне, не имеющей потерь и обладающей входным сопротивлением 36 Ом, и реальной, имеющей большее входное сопротивление, первая антенна будет излучать большую мощность в эфир, чем вторая антенна, где часть подводимой мощности безвозвратно рассеивается на активном сопротивлении потерь, которое сосредоточено, в основном, в заземляющей системе антенны.

Входное сопротивление антенны можно определить как:

$$R_{\text{вх}} = R_{\text{изл}} + R_{\text{пот}}.$$

где $R_{\text{вх}}$ — входное сопротивление антенны;
 $R_{\text{изл}}$ — сопротивление излучения антенны;
 $R_{\text{пот}}$ — сопротивление потерь антенны.

Сопротивление потерь для несимметричной вертикальной антенны показывает, какая мощность теряется в «земле» антенны.

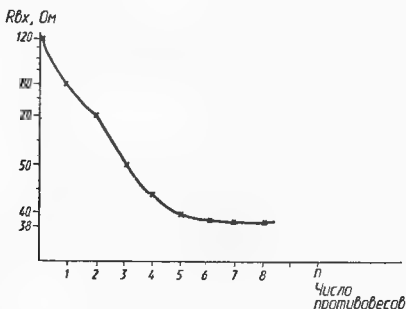


Рис. 1.10. График зависимости входного сопротивления вертикальной антенны от числа ее противовесов

Автором были проведены измерения входного сопротивления четвертьволнового штыря, рассчитанного для работы в диапазоне 28 МГц с четвертьволновыми противовесами длиной $\lambda/4$ и их числом от 1 до 6. На рис. 1.10 показан график зависимости входного сопротивления этой антенны.

На основании этих измерений можно определить составляющие сопротивления «земли» антенны, которое в данном случае аналогично сопротивлению потерь:

$$R_3 = R_{\text{пот}} = R_{\text{вх}} - R_{\text{изл}},$$

где R_3 — сопротивление «земли» антенны.

КПД антенны определяется по формуле

$$\text{КПД} = \frac{R_{\text{изл}}}{R_{\text{вх}}}.$$

График сопротивления потерь и КПД рассмотренной антенны приведен на рис. 1.11. При четырех противовесах достигается КПД антенны, близкий к 90%. В основном все четвертьволновые вертикальные антенны УКВ, расположенные на большом расстоя-

нии от земли и используемые в служебной связи, имеют по четыре четвертьволновых противовеса. В радиолобительских аналогичных конструкциях используется три или четыре четвертьволновых противовеса. Следует обратить внимание, что здесь используются противовесы резонансной длины. Именно эти противовесы позволяют осуществить максимальное взаимодействие высокочастотной энергии, излученной вибратором вертикальной несимметричной антенны в пространстве.

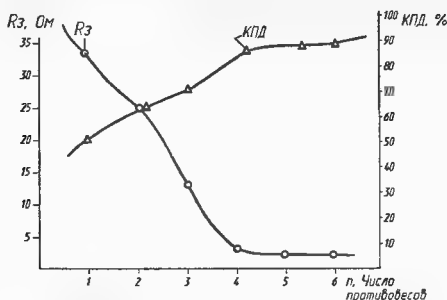


Рис. 1.11. Графики зависимости сопротивления потерь и КПД вертикальной антенны

Иногда вместо резонансных противовесов используют 6...10 коротких противовесов длиной $(0,1...0,2)\lambda$, концы которых соединяют между собой, как показано на рис. 1.12. В разных источниках приводятся отличающиеся друг от друга сведения относительно оптимального числа противовесов. Но общий вывод, который можно сделать, что шесть противовесов длиной $0,2\lambda$, соединенных кольцом, уже обеспечивает эффективность работы антенной системы с КПД не менее 90%.

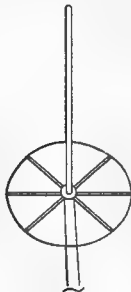


Рис. 1.12. Короткие нерезонансные противовесы антенны

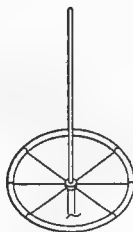


Рис. 1.13. Спортивный алюминиевый обруч в антенне диапазона 10 м

Следует заметить, что при использовании резонансных противовесов на их концах при работе антенны на передачу может быть большое высокочастотное напряжение. Необходимо предотвратить возможное касание концов противовесов рукой человека, которое может привести к ожогам кожи. На кольце «земли» антенны высокочастотное напряжение также будет присутствовать, но гораздо меньшего уровня,

и поэтому оно будет менее опасно при случайном касании руками замыкающего кольца противовесов антенны. Автору приходилось видеть конструкции радиолюбительских несимметричных вертикальных антенн на диапазоны 10...15 м, в качестве «земли» которых использовался спортивный алюминиевый обруч, замкнутый радиальными проводниками. В этом случае при работе антенны на диапазоне 10 м радиальные проводники крепились по периметру обруча (рис. 1.13), а на диапазоне 15 м «земля» была выполнена из проводников, отстоящих примерно на 1 м от обруча, как показано на рис. 1.14. По словам радиолюбителей, использующих эти антенны, они обеспечивали весьма эффективную работу.

В своих малогабаритных конструкциях антенн автор использовал *свернутые противовесы*, как показано на рис. 1.15. Использование трех спиралей противовесов обеспечивало входное сопротивление антенны в пределах 55 Ом и ее согласование с 50-омным коаксиальным кабелем. Упрощение конструкции антенны оправдывает использование спиральных противовесов на диапазонах 10...20 м.



Рис. 1.14. Спортивный алюминиевый обруч в антенне диапазона 15 м

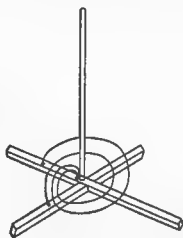


Рис. 1.15. Свернутые противовесы

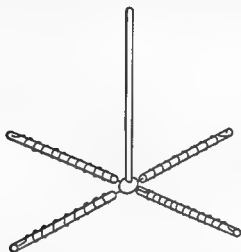


Рис. 1.16. Витые противовесы

Очень хорошие результаты дает использование *витых противовесов*, показанных на рис. 1.16. На полиэтиленовые водопроводные трубы диаметром 12...50 мм, наматывают провод, равный по длине четверти волны диапазона работы антенны. Расстояние между соседними витками витого противовеса 1...2 см. Хотя теоретически эти противовесы и требуют настройки в резонанс путем небольшого укорочения длины провода, из которого они состоят, но на практике оказалось, что антенна хорошо работает и без их последующей настройки в резонанс.

Используя описанные выше способы, можно установить именно ту «землю», которая максимально подходит к вашей антенне и соответствует вашим возможностям.

«ЗЕМЛЯ» НЕСИММЕТРИЧНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ, РАСПОЛОЖЕННОЙ НЕПОСРЕДСТВЕННО НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Иная картина получается, если антенна находится непосредственно на поверхности земли, как показано на рис. 1.17. В этом случае электромагнитное поле, создава-

емое штырем антенны, взаимодействует не только с противовесами, но и непосредственно с почвой. Токи проводимости, протекающие в штыре антенны, уже не равны сумме токов проводимости, протекающих только в металлических противовесах антенны (если они есть в данном случае), а равны сумме токов проводимостей, протекающих в противовесах и в почве. Только идеальный проводящий экран, расположенный на поверхности земли, может решить проблему эффективной работы антенны. Во многих радилюбительских источниках отмечается, что вертикальная несимметричная антенна эффективно работает над металлической крышей, являющейся практически идеальной «землей». К сожалению, такое расположение антенны не всегда возможно.

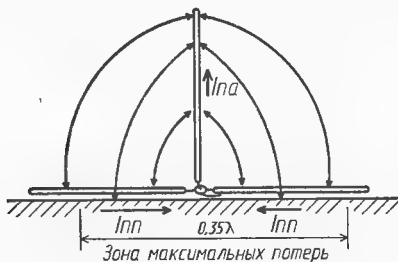


Рис. 1.17. Антенна, расположенная непосредственно на поверхности земли

Теоретические расчеты показывают, что наибольшие потери происходят в зоне, ограниченной диаметром $0,35\lambda$ относительно штыря [5]. Именно металлизация этой зоны может решить проблему, связанную с «землей» антенны. Нет смысла использовать резонансные противовесы над проводящей землей. Близость земли изменит резонансную частоту противовесов, и они уже не будут работать на резонансном эффекте. Гораздо лучше использовать несколько противовесов длиной $0,1...0,2\lambda$, концы которых соединены металлическим кольцом (рис. 1.18). Металлический об- руч может лежать непосредственно на поверхности земли или на бетонной крыше дома, которая является близким аналогом земли.

Какое же число радиальных проводов необходимо для эффективной работы такой «земли»? В классической литературе, посвященной вертикальным антеннам [3], их число указывается равным 50 при диаметре об-руча $0,4\lambda$. Хотя это и достаточно большое число противовесов, оно вполне реализуемо на практике, и при установке вертикального штыря в непосредственной близости от земли такая «земля» может быть выполнена. Экран может быть как плоским, так и конусоидным. Как указывается в [3], он может лежать на поверхности земли, немного приподнять или закопан на небольшую глубину (5...10 см).

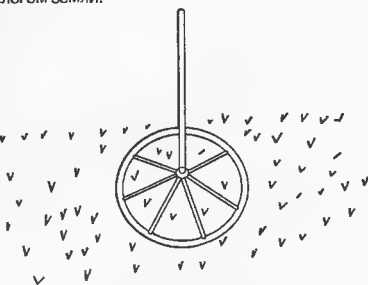


Рис. 1.18. Нерезонансные противовесы в непосредственной близости от поверхности земли

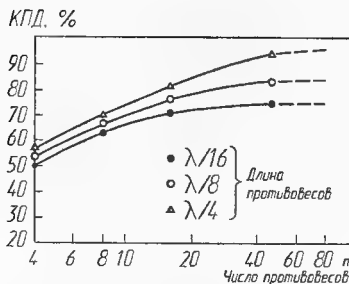


Рис. 1.19. КПД антенны при использовании противовесов различной длины

Необходимо обратить внимание на то, чтобы проводящая поверхность искусственной «земли» не подвергалась коррозии. Защитить поверхность экрана можно как с помощью краски, так и применив для изготовления противовесов провод с изоляцией, которая выдерживает атмосферные условия. В современных источниках [6, 7] находится подтверждение этому. На графике, приведенном на рис. 1.19, показаны зависимости КПД антенны при использовании противовесов различной длины, расположенных близко от поверхности земли. Эти графики получены в результате исследований [7], проведенных W2FMI.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТАНОВКЕ «ЗЕМЛИ» ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НЕСИММЕТРИЧНОЙ АНТЕННЫ

При расположении вертикальной несимметричной четвертьволновой антенны на высоте, большей $\lambda/2$, для ее эффективной работы достаточно четырех противовесов длиной $\lambda/4$.

При расположении антенны близко к поверхности земли или плохо проводящей поверхности (например, бетонной крыше дома) нет смысла использовать противовесы длиной $\lambda/4$, т. е. с резонансной длиной в свободном пространстве. Из-за влияния емкости земли и потерь в земле резонансные свойства противовесов не будут проявляться. В этом случае лучше использовать короткие противовесы, а их концы желательно электрически соединить металлическим обручем. Длина этих противовесов должна быть не менее $0,1\lambda$. При увеличении длины противовесов увеличивается и эффективность работы антенны; например, длина противовесов $0,2\lambda$ достаточна для эффективной работы антенны.

Эффективность коротких противовесов тем выше, чем большее число их используется. Во всяком случае их должно быть не менее шести. При числе противовесов более 50 рост КПД антенной системы замедляется и дальнейшее его увеличение возможно лишь при увеличении длины противовесов.

При расположении в одном направлении большего числа противовесов или противовесов большей длины можно придать антенной системе направленные свойства. Если в одном направлении разместить противовесы длиной $5 \dots 10\lambda$, то в этом направлении луч лепестка диаграммы направленности опустится до угла $10 \dots 15$ угл град к линии горизонта, что благоприятно для проведения DX QSO.

В радиобюбительской литературе (например, в [8]) не рекомендуется электрически соединять противовесы с арматурой железобетонного здания, на котором

находится антенна. Такое соединение может привести к сильным помехам телевидению. Для грозозащиты антенна может быть соединена с заземлением здания через резистор сопротивлением 5...20 кОм или высокочастотный дроссель.

Необходима защита поверхности противовесов от коррозии.

«ЗЕМЛЯ» ОДНОПРОВОЛОЧНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ АНТЕНН

Среди радиолюбителей широко распространены *однопроволочные горизонтальные антенны*, предназначенные для работы на диапазоны 80 и 160 м. Некоторые радиолюбители используют антенну типа «Windom» для однодиапазонной или многодиапазонной работы. Для всех этих антенн необходима радиотехническая «земля». Рассмотрим работу *однопроволочных антенн* (рис. 1.20).

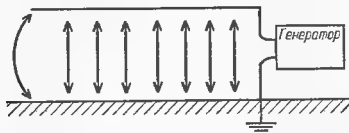


Рис. 1.20. Однопроволочная антенна над поверхностью земли

Токи смещения этой антенны протекают между ее полотном и поверхностью земли. КПД этой антенны (как и КПД вертикальных несимметричных антенн) зависит от проводимости земли. Для увеличения КПД *однопроволочных антенн* необходимо снижать сопротивление земли или увеличивать сопротивление излучения антенны. При сопротивлении излучения более 500...600 Ом плохая «земля» сопротивлением 60...100 Ом уже не так сильно влияет на КПД антенны. Для улучшения качества «земли» таких антенн желательно под полотном антенны проложить хотя бы один проводник длиной, равной длине полотна антенны, а еще лучше два-четыре проводника. При одном проводнике сопротивление потерь такой «земли» будет в пределах 100...150 Ом, при трех или четырех проводниках, расположенных на расстоянии не менее 1...2 м друг от друга, сопротивление потерь уменьшится до 50...60 Ом. Антенна типа «Windom» имеет большое входное сопротивление (500 Ом), поэтому сопротивление «земли» 50...120 Ом мало влияет на ее КПД.

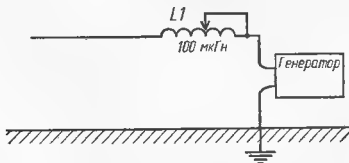


Рис. 1.21. Удлиненная однопроволочная антенна

Если радиолюбитель использует однопроволочную низкоомную антенну, то такое высокое сопротивление «земли» существенно ухудшит ее работу. В этом случае можно рекомендовать удлинить ее электрическую длину с помощью катушки индуктивности до полуволновой (или кратной ей), т. е. имеющей высокое входное сопротивление на этом диапазоне работы (рис. 1.21). Для настройки антенны для работы на диапазонах 80...160 м максимальная индуктивность катушки должна составлять 100 мкГн. Необходимая индуктивность подбирается экспериментально, так как она

зависит от качества «земли», емкости антенны на «землю», длины антенны, высоты ее подвеса. Несмотря на то, что в полотно антенны включена *удлиняющая катушка*, КПД антенны будет выше, чем без удлиняющей катушки. Улучшение работы «удлиненной» антенны также заметно по оценкам принимаемых сигналов от других станций.

Но часто радиолюбитель не имеет возможности проложить противовесы под антенной, например, если полотно антенны проходит над асфальтированными дорогами или радиолюбитель живет в многоквартирном доме. Выход из этого положения только один — использовать систему отопления дома в качестве «земли» для радио

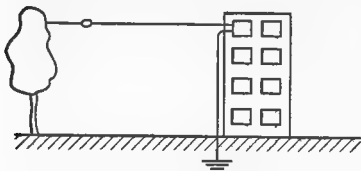


Рис. 1.22. «Земля» антенны в многоквартирном доме

станций. В этом случае необходимо смириться с высоким уровнем помех телевидению при работе однопроводной антенны на передатчике, а также с тем, что корпус передатчика будет «жечься» при передаче. На верхних этажах от этого не спасет установка самостоятельной «земли» антенны — провода диаметром 2...6 мм, идущего от радиостанции радиолюбителя и соединяющегося с заземлением дома (рис. 1.22).

Высокочастотное напряжение от этого провода все равно будет наводиться на систему отопления дома, что также приведет к высокому уровню помех телевидению. В этом случае снизить уровень помех, устранить «жжение» корпуса передатчика позволит установка «земли» на самой радиостанции.

УСТРОЙСТВО «ЗЕМЛИ» РАДИОСТАНЦИИ

Радиостанция должна быть оборудована своей системой «земли». Первое, что необходимо иметь на радиостанции — это *заземление*. Наиболее просто заземление можно выполнить, электрически присоединившись к системе парового отопления. Переходное сопротивление между радиостанцией и батареей отопления должно быть как можно меньшим. Соединение можно выполнить с помощью *хомута*. Труба батареи зачищается по длине хомута, оборачивается свинцовой мягкой фольгой, и это место затягивается хомутом (рис. 1.23). При отсутствии свинцовой фольги можно использовать алюминиевую фольгу от шоколада или вообще обойтись без нее. После выполнения такого соединения хомут закрашивается краской, аналогичной по цвету краски батареи. Такое соединение хорошо выглядит, не окисляется и может служить в течение многих лет. Хотя, как показывает опыт, через 5...7 лет это соединение желательно вскрыть и снова зачистить трубу, которая к тому времени уже немного окислилась.

Электротехническое заземление необходимо соединить с корпусами радиоаппаратуры. Оно защитит оператора от поражения электрическим током при попадании в антенну молнии или при пробое фазы сети питания на корпус. Категорически запрещается использовать в качестве электротехнической «земли» нулевой провод электрической сети. Во-первых, это сразу приведет к повышенному уровню помех, а, во-вторых, возможна случайная перекоммутация фазы при ремонте электропроводки, в результате чего фаза окажется на корпусе радиостанции, что может привести к поражению электрическим током ее оператора. Электротехническое заземление этого типа является *суррогатным радиотехническим заземлением*. Для нормальной работы радиостанции необходимо хорошее радиотехническое заземление для снижения высокочастотного напряжения на корпусе передатчика.

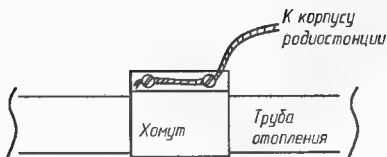


Рис. 1.23. Электротехническое заземление

Даже при использовании согласованной антенны, питающейся по коаксиальному кабелю и имеющей свою хорошую радиотехническую «землю», корпус передатчика часто «жжется». Отчего же это происходит? Усилитель мощности обычно содержит катушки индуктивности, на которых (особенно при использовании мощных радиоламп) существует высокое высокочастотное напряжение. Высокочастотные трансформаторы и катушки П-контуров транзисторных устройств также создают достаточно интенсивные высокочастотные поля, которые наводятся на корпусе усилителя, в результате чего корпус аппаратуры оказывается под высокочастотным напряжением. Плохая работа блокировочных конденсаторов в цепях питания ламповых и транзисторных усилителей приводит к тому, что высокочастотное напряжение попадает в сеть питания 220 В через межвитковые емкости обмоток, что приводит к появлению ВЧ напряжения на корпусе передатчика.



Рис. 1.24. Дроссельный фильтр

Устранить этот эффект можно установкой сетевых ВЧ фильтров как дроссельных, так и конденсаторных. Схема простейшего *дроссельного фильтра* показана на рис. 1.24. Сетевой провод наматывается на ферритовый стержень от магнитной антенны или на ферритовое кольцо от отклоняющей системы телевизора. Число витков — 20...30. Этот дроссель, несмотря на свою простоту, эффективно отсекает высокочастотный ток от сети питания; он должен располагаться как можно ближе к блоку питания радиостанции. Конечно, применение качественных стандартных или самодельных сетевых LC-фильтров даст еще больший эффект.

Высокочастотное напряжение, обусловленное наводками от катушек индуктивности и емкостными токами, будет присутствовать на корпусе трансивера. Соединение корпуса с батареей отопления существенно уменьшит это напряжение, но не поможет избавиться от него полностью, особенно на ВЧ диапазонах, где паразитные наводки и емкостные токи особенно велики.

Существенно снизить уровень ВЧ напряжения поможет противовес длиной $\lambda/4$ для самого «жгучего» диапазона. Этот противовес можно расположить на плintусе. Возможно придется скорректировать длину противовеса в сторону меньшую $\lambda/4$ по эффективной работе этого противовеса. Если есть возможность, желательно подобрать точку его подключения к трансиверу. Для этого противовеса электрически соединяют с разными точками трансивера и находят ту, где происходит максимальный отсос энергии противовесом. Если такой противовес имеет слишком большую длину или необходимо «снять» ВЧ напряжение на нескольких диапазонах, можно использовать устройство типа «искусственная земля» (рис. 1.25).

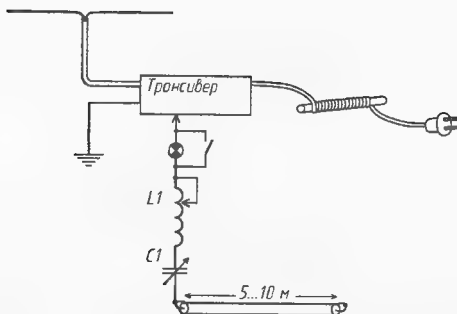


Рис. 1.25. Снятие высокочастотного напряжения с корпуса трансивера

Это устройство представляет собой включенные последовательно переменные индуктивность и емкость, к которым подключен отрезок толстого провода длиной 5...10 м. Очень хорошие результаты дает использование внешней оплетки толстого коаксиального кабеля, телефонного кабеля на 10...20 пар с запараллеленными на его концах жилами. Последовательно с устройством «искусственная земля» включают лампочку накаливания на 2,5 Вх0,5 А или другую в зависимости от мощности трансивера и регулировкой параметров LC-цепи добиваются максимального свечения лампочки. После настройки эта лампочка замыкается тумблером. Можно использовать вместо лампочки постоянно включенный ВЧ амперметр. Максимальная индуктивность катушки составляет 50 мкГн. Катушка может быть как с плавной регулировкой индуктивности, так и с дискретной — с отводами. Подобное согласующее устройство было описано в [9]. В источнике [10] предлагается использовать катушку переменной индуктивности с максимальным значением 26 мкГн и производить не измерение тока, протекающего в «искусственную землю», а ВЧ напряжения на ней.

На диапазоне 160 м для эффективной работы устройства [10] длина противовеса должна быть не менее 5 м, а само устройство «искусственная земля» рекомендуется подключить к заземлению. Если радиолюбитель использует свою собственную систему «земли», то такое подключение также целесообразно. Но если радиолюбитель предполагает использовать для «земли» радиостанции батареи отопления, то такое соединение приведет к повышенному уровню помех телевидению. В этом случае устройство необходимо подключать к отдельному проводнику. При работе устройства «искусственная земля» на конце противовеса может быть высокое ВЧ напряжение, поэтому желательно обеспечить его изоляцию.

В литературе встречаются описания витых противовесов, подключаемых к корпусу трансивера для снятия с него высокочастотного напряжения. Авторами были опробованы *витые противовесы*, выполненные на резиновом поливном шланге, для диапазонов 80 и 160 м. Для их выполнения необходим провод длиной $\lambda/4$, который с небольшим (1...5 мм) шагом наматывается на шланг. Включив последовательно с противовесом лампочку, откусывают кусачками по витку провода от его конца, добиваясь наиболее яркого ее свечения. Эта регулировка не сложна и может быть быстро проведена.

Рассмотренные противовесы очень эффективны как при работе с низкоомными однопроводными антеннами низкочастотных диапазонов, так и с высокоомными. При подключении таких противовесов уровень ВЧ напряжения на корпусе передат-

чика значительно снижается. Недостаток этих противовесов — их громоздкость. Они могут быть размещены на плинтусе, на задней стенке мебели.

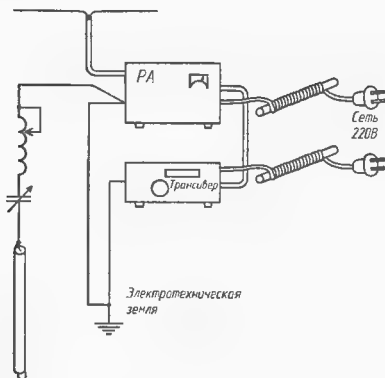


Рис. 1.26. Заземление усилителя мощности и трансивера

Если трансивер используется с усилителем мощности, то устройство «искусственная земля» необходимо подключать к усилителю (рис. 1.26). Сетевые провода как усилителя мощности, так и трансивера должны быть развязаны от сети переменного тока с помощью дросселей. Корпуса усилителя мощности и трансивера не должны соединяться между собой внешним проводником, заземление их друг на друга может осуществляться только через коаксиальный кабель, используемый для подачи возбуждения на РА. Соединение с электротехнической землей осуществляется своим проводом от каждого устройства. В этом случае уровень ВЧ напряжения на корпусе трансивера будет минимальный.

Следует заметить, что радиолюбители не всегда следуют этим правилам, располагая трансивер и усилитель мощности в одной метеллической консоли или поставив их друг на друга и соединив (или даже не соединив) корпуса коротким проводом. Если подобная система работает и не «жжется», то можно использовать и такое построение. Но если ВЧ напряжение присутствует на корпусе системы, то ее «землю» необходимо выполнить по приведенным выше рекомендациям.

В заключение отметим, что приведенные выше рекомендации позволяют радиолюбителю создать наиболее подходящую для него «землю». Однако на практике возможны нестандартные ситуации, поэтому к конструированию «земли» необходимо подходить творчески, учитывая все факторы — месторасположение радиостанции, тип используемых антенн, уровень телевизионного сигнала в данном месте и т. п. Так, один из радиолюбителей утверждал, что помехи телевидению пропали после того, как он соединил провод, используемый в качестве «земли», с обыкновенной ванной.

Автором была опробована «земля» антенны, выполненная из телефонного кабеля на 20 пар (все жилы соединены вместе), который спускался по вентиляционной шахте с девятого этажа дома. Уровень сигналов LW длиной 41 м при его использовании совместно с «шахтной землей» возросла на 2...3 балла!

Для каждого случая нужен свой тип «земли». Радиотехническая — для работы антенны, электротехническая — для снятия высокочастотного напряжения с корпуса передатчика. Только в редких случаях эти типы «земель» могут заменить друг друга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крыжановский Л., Рыбак Дж. Гульельмо Маркони и зарождение радиосвязи. — Радио, 1995, № 1, с. 15.
2. Федоров Н. И. Основы электродинамики. — М: Высшая школа, 1980, 399 с.
3. William I. Orr (W6SAJ), Stuart D. Cowan (W2LX). All About Vertical Antennas. Wilton. USA. — Radio Publications Inc, 1986, 191 p.
4. Долуханов М. П. Распространение радиоволн. — М: Связь, 1965, 400 с.
5. The ARRL handbook for the radio amateur. — 1989, 66—Edition, published by the ARRL, USA, Newington 1989.
6. Сколько нужно противовесов? — Радио, 1999, № 6, с. 64.
7. Возвращаясь к напечатанному. «Сколько нужно противовесов?» — Радио, 1999, № 10, с. 59.
8. Бекетов И. В., Зельдин И. Л., Пыж И. В. КВ-антенны-3. Харьков, 1994, 72 с.
9. Григоров И. (UZ3ZK). Универсальное согласующее устройство. — Радиолюбитель, 1993, № 11, с. 43.
10. Подгорный И. (EW1MM). ВЧ заземление. — Радиолюбитель КВ и УКВ, 1995, № 9, с. 21.

ГЛАВА 2

СИММЕТРИРУЮЩЕ-ТРАНСФОРМИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

При работе симметричных антенн с несимметричной линией передачи или симметричной линии передачи с несимметричным выходом передатчика необходимо использовать специальные симметрирующие устройства. Эти симметрирующие устройства иногда должны выполнять еще и трансформирующие функции.

Ниже описаны симметрирующие и трансформирующие цепи, легко реализуемые в радиолюбительских условиях и позволяющие работать с большинством типов антенн, а также способы выполнения таких устройств, их тестирование, достижение необходимых параметров.

СИММЕТРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ

Одно из наиболее простых симметрирующих устройств с использованием коаксиального кабеля показано на рис. 2.1. Оно состоит из отрезка коаксиального кабеля длиной $K_u(\lambda/4)$, где K_u — коэффициент укорочения; внутренняя жила и оплетка отрезка закорочены, и он расположен вблизи фидера питания антенны. При идентичности кабеля питания и кабеля симметрирующего устройства поле тока асимметрии на дополнительном кабеле компенсирует поле тока асимметрии на основном кабеле. Для полной компенсации полей асимметрии необходимо, чтобы расстояние A было постоянным по всей длине симметрирующего устройства.

Если расстояние A более 5 см, то двухпроводная линия, образованная кабелем питания и отрезком дополнительного кабеля, будет излучать при работе антенны на передачу и принимать при работе антенны на прием. Коэффициент укорочения длины согласующего устройства примерно равен коэффициенту укорочения диполя, выполненного из провода толщиной, равной диаметру оплетки кабеля. Обычно он составляет 0,95...0,98.

При уменьшении расстояния между кабелями уровень излучения будет снижаться. Но вследствие того, что коаксиальный кабель покрыт диэлектрической защитной оболочкой, будут возрастать диэлектрические потери электромагнитной энергии между ними. Особенно это сказывается, если пространство между кабелями покрыто снегом или кабели покрыты влагой, пылью, расположены в тумане. Кроме того,

из-за уменьшения волнового сопротивления линии, образованной двумя кабелями, при уменьшении расстояния между ними будет снижаться и коэффициент укорочения K_u длины отрезка симметрирующего устройства. При касании оболочек кабелей K_u будет равен 0,8. При увеличении расстояния между кабелями до величины утроенного их диаметра коэффициент укорочения составит 0,95.

Необходимо осуществить надежный электрический контакт отрезка кабеля симметрирующего устройства с оплеткой кабеля питания и обеспечить его защиту от атмосферных воздействий. При проникновении влаги внутрь кабеля он выйдет из строя. На практике для упрощения симметрирующего устройства обычно располагают симметрирующий отрезок рядом с основным кабелем. Симметрирующий отрезок в нескольких местах закрепляют изолянтной, место стыка тщательно обматывают изолянтной типа ПВХ, а затем для влагоизоляции закрашивают прочной краской (рис. 2.2). Для постоянства расстояния между кабелями используют какие-либо вставки стандартной толщины.

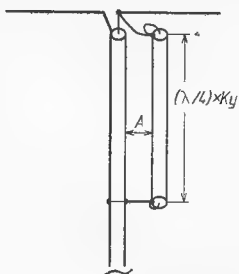


Рис. 2.1. Простое симметрирующее устройство

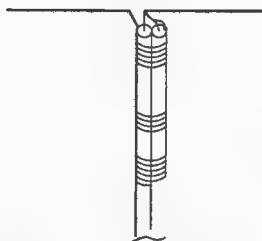


Рис. 2.2. Симметрирующий отрезок на кабеле

Это могут быть пластиковые коробки от фотопленки, куски внутренней изоляции более толстого коаксиального кабеля либо другие одноразмерные куски изоляционного материала (рис. 2.3а). В месте расположения вставок кабели соединяют с помощью изолянтной ПВХ (рис. 2.3б). Обычно такие симметрирующие устройства используют для работы в диапазонах 2...12 м, но иногда их используют на нижних любительских диапазонах. Еще раз отметим, что кабели, используемые для питания антенны и симметрирующего устройства, должны быть одного типа.

Вариант симметрирующего устройства, где используется четвертьволновый замкнутый отрезок коаксиального кабеля, показан на рис. 2.4. Его отличие от согласующего устройства, показанного на рис. 2.1, состоит в том, что обе жилы дополнительного коаксиального кабеля подключаются к антенне. Достоинство этого согласующего устройства в том, что кабель симметрирующего устройства не подключается к оплетке кабеля питания, поэтому не происходит нарушения целостности его оболочки, и антенно-фидерная система меньше подвержена атмосферным воздействиям.

Симметрирование в данном случае происходит потому, что на этом отрезке коаксиального кабеля наводится ток асимметрии, который в противофазе подается на

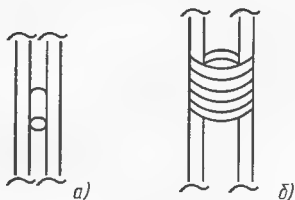


Рис. 2.3. Фиксация расстояния между кабелями

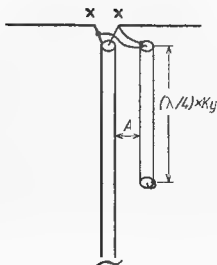


Рис. 2.4. Симметрирующее устройство на замкнутом четвертьволновом отрезке коаксиального кабеля

вход коаксиального кабеля питания: в результате происходит взаимное уничтожение тока асимметрии в кабеле наведенным током. Длина симметрирующего отрезка кабеля равна $K_y(\lambda/4)$, где K_y — коэффициент укорочения волны в кабеле; для кабелей с полиэтиленовой изоляцией он равен 0,66. Расстояние A должно быть постоянным по всей длине. Обычно его выбирают равным 2...5 см, а кабели фиксируют указанными выше способами.

Отрезок кабеля симметрирующих устройств на рис. 2.1 и 2.4 вносит дополнительную емкость между антенной и оболочкой кабеля. Хотя эта емкость невелика, все же может потребоваться ее компенсация на антенне известными методами.

Таблица 2.1

ДЛИНЫ ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫХ СИММЕТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Диапазон, М	$\lambda/4$, М	 $K_y = 0,95 \text{ м}$	 $K_y = 0,92 \text{ м}$	 $K_y = 0,8 \text{ м}$	$K_y = 0,66 \text{ м}$
160	38,46	36,54	35,38	30,76	25,38
80	20,83	19,78	19,16	16,66	13,74
40	10,63	10,1	9,78	8,5	7,02
30	7,42	7,05	6,83	5,93	4,9
20	5,28	5,02	4,86	4,22	3,48
17	4,15	3,94	3,81	3,32	2,4
15	3,5	3,36	3,22	2,8	2,31
12	3,06	2,9	2,82	2,45	2,02
11	2,7	2,56	2,48	2,16	1,78
10	2,63	2,5	2,42	2,1	1,74
6	1,47	1,4	1,35	1,18	0,97
2	0,51	0,48	0,47	0,4	0,34

Симметрирующие устройства, приведенные на рис. 2.1 и 2.4, работоспособны в пределах 10% от значения центральной частоты, что позволяет подходить к выбору длины дополнительного кабеля не столь критично. В табл. 2.1 приведены значения длин симметрирующих устройств для работы на любительских диапазонах 2...160 м.

СИММЕТРИРУЮЩЕ-ТРАНСФОРМИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Выше были описаны симметрирующие устройства, которые не осуществляли трансформации сопротивлений. Эти устройства обычно используются для питания симметричных антенн, имеющих входное сопротивление, равное волновому сопротивлению кабеля.

В радиолюбительской практике используются симметричные антенны, входное сопротивление которых лежит в пределах 200...300 Ом. Это петлевые дипольные антенны, ромбические антенны, некоторые типы направленных антенн типа «волновой канал». Наиболее распространенное *симметрирующе-трансформирующее устройство* показано на рис. 2.5.

Симметрирование происходит благодаря фазовому сдвигу 180 угл град между одной точкой подключения к нагрузке кабеля питания и другой точкой нагрузки, подключенной к кабелю питания через полуволновый отрезок кабеля. Петля должна быть расположена симметрично относительно кабеля питания (рис. 2.5а). Часто ее располагают в виде латинской буквы «U» (рис. 2.5б). С учетом трансформирующих свойств отрезка коаксиального кабеля длиной четверть волны выходное сопротивление этого симметрирующе-трансформирующего устройства будет равно учетверенному волновому сопротивлению кабеля.

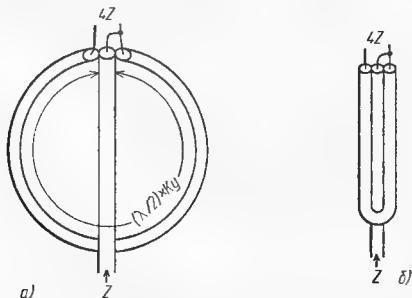


Рис. 2.5. Симметрирующе-трансформирующее устройство

Подобное симметрирующе-трансформирующее устройство обычно используется на любительских диапазонах 2...12 м. На нижних диапазонах его использование затруднено из-за сложности, возникающих при симметричном расположении петли относительно кабеля и громоздкости устройства. Значения длин шлейфов *симметрирующих устройств* для работы на диапазонах 2...12 м приведены в табл. 2.2 для коаксиальных кабелей с коэффициентом укорочения 0,66. Сдвиг 180 угл град может обеспечить отрезок кабеля не только длиной $\lambda/2$, но и длиной $3\lambda/2$ и $5\lambda/2$ и т. д. На практике такие удлиненные отрезки иногда используются в УКВ диапазонах, так как длина кабеля $\lambda/2$ получается малой и выполнить симметрирующее устройство из такого небольшого отрезка кабеля затруднительно. Широкополосность этого устройства составляет 30%, поэтому подход к выбору длины шлейфа также не критичен.

С высокоомными антеннами на диапазоны 2...20 м радиолюбители часто используют *симметрирующе-трансформирующее устройство*, выполненное на основе четвертьволновых трансформаторов (рис. 2.6). Вследствие трансформирующих свойств отрезков линии длиной четверть волны осуществляется трансформация волнового сопротивления кабеля в 4 раза и происходит согласование высокоомной нагрузки с низкоомным сопротивлением кабеля, а за счет противофазного подключения этих

Таблица 2.2

длины шлейфов симметрирующих устройств

Диапазон, м	$\lambda/2$, м	$(\lambda/2)-0,66$, м
12	6,12	4,04
11	5,55	3,66
10	5,25	3,46
6	2,94	1,94
2	1,03	0,68

как длины волн в кабеле и в воздухе различны. Вследствие этого в кабель питания вносится дополнительное *реактивное сопротивление* нерезонансными внешними оплетками кабелей четвертьволновых трансформаторов в точках подключения к нему. Чтобы устранить вносимое *индуктивное сопротивление*, на концы четвертьволновых трансформаторов надевают по 3...5 ферритовых кольца. Это эквивалентно увеличению индуктивного сопротивления внешней оболочки кабеля и минимизирует шунтирующее действие симметрирующе-трансформирующего устройства на вход кабеля.

Все, что касается *диэлектрических потерь* между оболочками кабелей для симметрирующего устройства, показанного на рис. 2.1, верно и для симметрирующего устройства на рис. 2.6. На практике такое симметрирующе-трансформирующее устройство выполняют, располагая кабели четвертьволновых трансформаторов вплотную друг к другу или на небольшом расстоянии (1...3 диаметра кабеля). Для обеспечения единого расстояния между четвертьволновыми трансформаторами можно использовать приведенные выше методы. Широкополосность рассмотренного симметрирующе-трансформирующего устройства составляет не менее 10% от его центральной частоты, что позволяет менее строго обеспечивать длину четвертьволновых трансформаторов. Здесь принципиальное значение имеет лишь то, что длины четвертьволновых трансформаторов должны быть равны между собой.

трансформаторов к коаксиальному кабелю питания осуществляется компенсация токов асимметрии и *симметрирование*. Необходимо учитывать значение коэффициента укорочения длины волны в кабеле при выполнении этих трансформаторов. Для кабеля с коэффициентом укорочения 0,66 длины четвертьволновых отрезков можно выбрать из табл. 2.1.

Физически длина внешней оплетки кабеля коаксиального *четвертьволнового трансформатора* получается меньше четвертьволновой, так

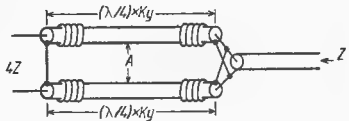


Рис. 2.6. Симметрирующе-трансформирующее устройство

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ СИММЕТРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Недостаток описанных выше симметрирующих цепей состоит в том, что они могут работать лишь в узкой полосе частот, фактически только на одном любительском диапазоне. Радиолюбители часто используют *симметричные антенны* (например W3DZZ, T2FD), которые работают на нескольких любительских диапазонах. В этом случае используют широкополосные симметрирующие устройства.

Наиболее *простое широкополосное симметрирующее устройство* показано на рис. 2.7. Оно представляет собой коаксиальный кабель, намотанный на достаточно большое ферритовое кольцо. Число витков от 5 до 15 (меньше при использовании *симметрирующего устройства* на ВЧ диапазонах и больше — на НЧ диапазонах). При рассимметрировании антенны на внешней оболочке кабеля протекает ток *асимметрии*. Катушка индуктивности, образованная внешней оплеткой коаксиального кабеля вокруг ферритового кольца, будет иметь большое индуктивное сопротивление этим

тока. В результате получится, что для токов асимметрии это устройство будет иметь большое сопротивление и практически не пропустит их на вход передатчика; в то же время на токи, протекающие внутри кабеля, это устройство не окажет влияния, что равносильно симметрированию антенны.

Проницаемость сердечника, используемого в таком симметрирующем устройстве, особой роли не играет. На частотах 1,8...30 МГц можно использовать кольца с проницаемостью 100...2000. Хорошие результаты здесь получаются при использовании отклоняющей системы телевизоров, что сделало это симметрирующее устройство популярным среди радиолюбителей.

При больших мощностях, подводимых к антеннам (более 100 Вт) ток асимметрии может быть значительным и сердечник войдет в режим насыщения, что будет эквивалентно уменьшению индуктивности дросселя и приведет к резкому снижению эффективности работы симметрирующего устройства. Для устранения этого явления используют противофазную намотку двух обмоток кольца (рис. 2.8). На каждой стороне кольца наматывается не менее пяти витков коаксиального кабеля. В этом случае токи асимметрии, протекающие в разных обмотках кольца, компенсируют друг друга, и кольцо не входит в режим насыщения даже при больших подводимых мощностях к антенне.

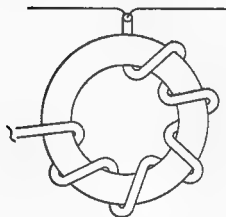


Рис. 2.7. Простое широкополосное симметрирующее устройство

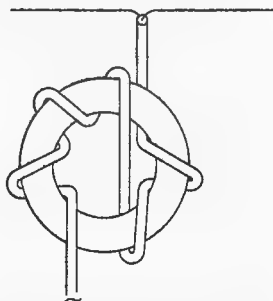


Рис. 2.8. Симметрирующее устройство с противофазной намоткой

Радиолюбитель В. Жалкераускас (UP2NV) предложил *простое и эффективное широкополосное симметрирующее устройство*, принцип работы которого аналогичен показанному на рис. 2.1. Оно представляет собой отрезок кабеля длиной 1...1,5 м, из которого выполнен фидер антенны; отрезок закорочен на своих концах. Один его конец присоединен к центральной жиле кабеля, другой — к оплетке (рис. 2.9). Кабели расположены рядом друг с другом. Полученная двухкабельная часть фидера антенны наматывается на любое подходящее по размерам ферритовое кольцо (на рис. 2.9 не показано). Если обмотка не уместится на одном кольце, то используют два или даже кольца одного типоразмера, сложенные вместе.

Такое симметрирующее устройство эффективно работает в диапазоне частот 1,8...30 МГц при подводимой мощности к антенне до 200 Вт. Можно использовать любые ферритовые кольца проницаемостью 100...2000; хорошо работают кольца от отклоняющей системы телевизоров. Если радиолюбитель имеет в наличии высокочастотное кольцо проницаемостью 10...100 и внешним диаметром 30...60 мм, то лучше собрать *симметрирующее устройство*, показанное на рис. 2.10а. Принцип действия его аналогичен устройству, показанному на рис. 2.8. Обмотки 1-4 и 2-5 намо-

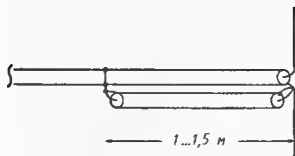


Рис. 2.9. Эффективное широкополосное симметрирующее устройство

В радиолюбительской литературе приводятся разные данные о числе витков в симметрирующем устройстве. Как показывает опыт, всегда необходим экспериментальный подбор числа витков для каждого определенного типа сердечника. Первоначальное число витков в обмотках 1–4 и 2–5 равно 15, а в обмотке 3–6 — 10. Методика измерения параметров симметрирующе-трансформирующих устройств будет приведена ниже.

Нет единого мнения, каким способом производить намотку обмоток 1–4 и 2–5. Автор использовал разные способы. Для намотки были использованы тонкий коаксиальный кабель с волновым сопротивлением, равным волновому сопротивлению основного кабеля, сетевой шнур питания, витые провода в лаковой и фторопластовой изоляции. Различие в параметрах симметрирующих устройств при этом было незначительным. Наиболее удачной получилась обмотка, выполненная с помощью тонкого коаксиального кабеля. Обмотка 3–6 также выполнялась таким же кабелем, закороченным на концах. Но это лишь субъективное мнение автора, и в любом случае желательна экспериментальная проверка и коррекция витков симметрирующего устройства по минимальному КСВ в диапазоне работы устройства.

Следует заметить, что иногда радиолюбители используют симметрирующее устройство, показанное на рис. 2.10, без компенсирующей обмотки 3–6. Такое вполне возможно при работе симметрирующего устройства на небольших мощностях (не более 50...100 Вт) и не на всех диапазонах КВ 50...160 м, а только в двух-трех смежных любительских диапазонах.

Описанные выше симметрирующие устройства хорошо работают как с 50-омным, так и с 75-омным коаксиальным кабелем.

Иногда требуется обеспечить широкополосный сдвиг фаз. Это может быть при питании элементов фазированных антенных систем, работающих как на прием, так и на передачу. Наиболее простое фазосдвигающее устройство на 180 угл град показано на рис. 2.11. Число витков и способ их намотки аналогичны симметрирующему устройству, показанному на рис. 2.10.

При описании симметрирующих устройств, приведенных на рис. 2.1 и 2.4, было показано, что для симметрирования системы необходимо подать с разницей фаз

таны бифилярно на одной половине сердечника, обмотка 3–6 намотана на другой половине сердечника противофазно обмоткам 1–4 и 2–5 (рис. 2.10б). Число витков обмотки 3–6 в 1,5...2 раза меньше, чем обмоток 1–4 и 2–5. Эта обмотка значительно расширяет диапазон работы симметрирующего устройства в области высоких частот. Такое симметрирующее устройство часто применяют в коммерческих антеннах.

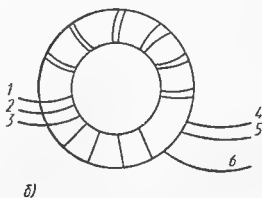
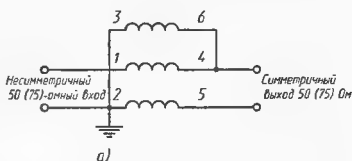


Рис. 2.10. Широкополосное симметрирующее устройство

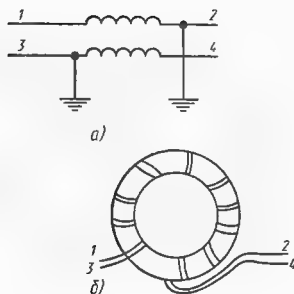


Рис. 2.11. Простое фазосдвигающее устройство

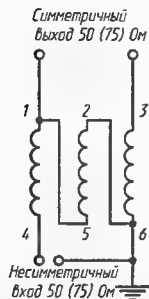


Рис. 2.12. Симметрирующее устройство

180 угл град напряжение, наведенное токами асимметрии нв оболочку кабеля, на входные клеммы антенны. Если в узкой полосе частот это можно осуществить с помощью четвертьволнового отрезка кабеля (рис. 2.1 и 2.4), то в широком диапазоне частот это можно осуществить *широкополосным фазосдвигающим устройством*, показанным на рис. 2.11. Схема симметрирующего устройства, использующего это устройство, приведена на рис. 2.12. Конструкция симметрирующего устройства показана на рис. 2.13. Обмотки симметрирующего устройства наматываются трифиллярно ленточным кабелем, а число витков (7...15) зависит от диаметра кольца и диапазона работы симметрирующего устройства. Намотка из трех свитых проводов деет небольшое ухудшение работы симметрирующего устройства. Можно выполнить обмотку двумя сматанными в нескольких местах тонкими коаксиальными кабелями, как показано на рис. 2.14.

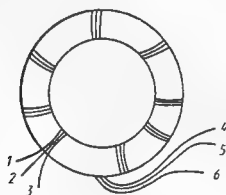


Рис. 2.13. Конструкция симметрирующего устройства

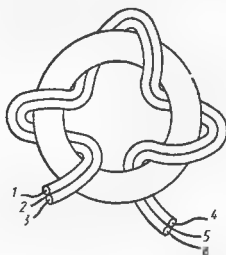


Рис. 2.14. Конструкция симметрирующего устройства с обмотками на коаксиальном кабеле

внешнюю оплетку кабелей соединяют друг с другом на входе и выходе симметрирующего устройства; так образуется обмотка 2-5. Внутренние жилы кабеля образуют обмотки 1-4 и 3-6. Желательно, чтобы волновое сопротивление коаксиальных кабелей, используемых для выполнения обмоток, было равно волновому сопротивлению кабеля питания антенны.

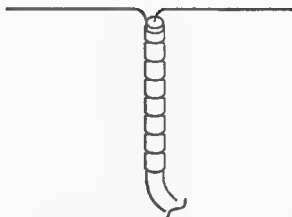


Рис. 2.15. Симметрирующее устройство на ферритовых кольцах

Среди радиолюбителей популярны симметрирующие устройства с использованием ферритовых колец, надетых около антенны (рис. 2.15). Принцип действия этого симметрирующего устройства аналогичен показанному на рис. 2.7.

Ввиду простоты изготовления, высокой эффективности работы и возможности приобретения ферритовых колец в специализированных магазинах этот вид симметрирующих устройств в последнее время понемногу вытесняет все остальные симметрирующие устройства. Ферритовые кольца должны быть такого диаметра, чтобы достаточно плотно сидели на кабеле. Проницаемость колец не критична.

Симметрирующее устройство, показанное на рис. 2.15, эффективно работает в диапазонах 1,8...144 МГц. На частоте 430 МГц его эффективность снижается, но в этом диапазоне достаточно хорошо работают симметрирующие устройства с использованием коаксиального кабеля. Для крепления колец к кабелю их обматывают изолянтной, для защиты от механических повреждений иногда надевают на них водопроводную пластиковую трубку. Для работы устройства в диапазонах 1,8...150 МГц достаточно набора колец на длине 30 см, но иногда делают набор длиной более полуметра для улучшения характеристик симметрирующего устройства при работе на низкочастотных диапазонах. Это устройство может работать при мощностях, подводимых к антенне, до 200 Вт. При больших мощностях и наличии рассимметрирующих антенну факторов возможно протекание больших токов асимметрии по внешней оболочке кабеля, что может привести к нагреву ферритовых колец. В результате перегрева феррит может повредить кабель, проплавив его, или рассыпаться, а симметрирующее устройство выйдет из строя.

В прежние годы радиолюбители применяли простые симметрирующие устройства, выполненные без использования феррита. Принцип работы их аналогичен симметрирующему устройству на рис. 2.7, но из-за отсутствия ферритового сердечника работают менее эффективно.

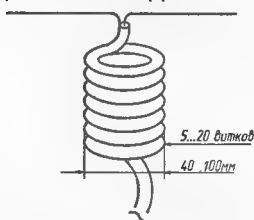


Рис. 2.16. Простое симметрирующее устройство

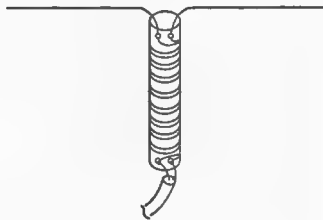


Рис. 2.17. Модификация простого симметрирующего устройства

Наиболее простое и широко распространенное симметрирующее устройство показано на рис. 2.16. Оно представляет собой катушку, намотанную коаксиальным кабелем на оправке диаметром 40...100 мм и содержащую 10...20 витков. Симметрирующий эффект такого устройства невысок, и он еще более ослабляется из-за наводки на катушку магнитной составляющей электромагнитной волны, излучаемой

антенной. Можно сказать, что это симметрирующее устройство работает одинаково плохо на всех диапазонах, но на диапазонах 1,8 и 25...30 МГц работает особенно плохо. Как вариант простейшего симметрирующего устройства его можно использовать. Мощность, пропускаемая через него, неограниченна и определяется лишь применяемым коаксиальным кабелем.

Модификация простого симметрирующего устройства, позволяющая немного повысить его эффективность при работе на диапазонах 1,8 и 25...30 МГц и улучшить симметрирующие свойства, показана на рис. 2.17. Это симметрирующее устройство содержит 20...50 витков тонкого коаксиального кабеля, намотанного на пластиковую трубу диаметром 10...25 мм. В качестве этой трубы можно использовать пластиковые трубы или пластиковую оболочку от телефонного кабеля на 10...25 пар. Тонкий коаксиальный кабель должен иметь волновое сопротивление, аналогичное волновому сопротивлению основного кабеля питания антенны. Мощность, подводимая к антенне, ограничена значением, которое соответствует тоному коаксиальному кабелю.

Иногда для увеличения пропускаемой мощности симметрирующее устройство, показанное на рис. 2.17, выполняют сетевым проводом с волновым сопротивлением близким к волновому сопротивлению используемого коаксиального кабеля. Этот вариант выполнения нельзя признать удачным вследствие того, что обычно сетевой провод не рассчитан на эксплуатацию под воздействием атмосферных условий. Через 3...5 лет его изоляция нарушается и симметрирующее устройство выходит из строя. Тем не менее, если принять серьезные меры по защите провода от атмосферных воздействий, такое симметрирующее устройство вполне можно использовать.

СИММЕТРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ОТКРЫТЫХ ЛИНИЙ

Открытые двухпроводные линии имеют много преимуществ по сравнению с коаксиальными кабелями: большую передаваемую по ним мощность, возможность работы с высоким КСВ, простоту создания многодиапазонных антенн с использованием открытых двухпроводных линий передачи для их питания. Но одно из основных преимуществ двухпроводной линии передачи — что это симметричная линия и она не требует применения дополнительных симметрирующих устройств на антенне. Симметричная антенна может запитываться открытой линией непосредственно.

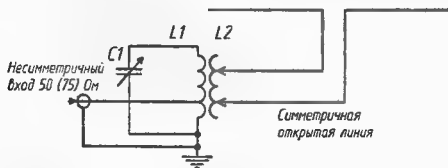


Рис. 2.18. Простое согласующее устройство для работы с открытой линией передачи

Для правильного питания антенны в этом случае необходимо использовать согласующее устройство для работы симметричной линии передачи, которое обеспечивает симметричный высокоомный выход. Реализация таких узкополосных устройств, работающих в одном диапазоне частот с использованием дополнительной катушки связи, хорошо известна радиолюбителям. Такие согласующие устройства были неоднократно описаны в радиолюбительской литературе [5]. Простая схема устройства, предназначенного для работы с открытой линией передачи, показана на рис. 2.18. С помощью отвода от катушки $L1$ происходит согласование контура с выходом пере-

датчика, а с помощью катушки L_2 — согласование с линией передачи. К недостаткам согласующе-симметрирующих устройств, использующих резонансные цепи, относится то, что на его элементах при передаче будет большое ВЧ напряжение, что предъявляет повышенные требования электрической прочности к переменному конденсатору $C1$ и качеству выполнения катушек $L1$ и $L2$.

В настоящее время все шире используют широкополосные трансформаторы, обеспечивающие коэффициент трансформации 1:4, 1:9, что позволяет согласовать 50(75)-омный выход трансивера с линией волновым сопротивлением 200(300) Ом, или при коэффициенте трансформации 1:9 согласовать тот же выход с линией 450(670) Ом. В зависимости от конструкции этих трансформаторов, они обеспечивают симметричный или несимметричный выход на нагрузку. Практические конструкции таких трансформаторов приведены ниже.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ СИММЕТРИРУЮЩЕ-ТРАНСФОРМИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Широкополосные симметрирующие трансформаторы обеспечивают преобразование несимметричного входа в симметричный совместно с трансформацией сопротивления. Это необходимо при работе трансивера на высокоомную антенну, питание которой осуществляется по открытой линии передачи (рис. 2.19), или при питании симметричных высокоомных антенн через несимметричный коаксиальный кабель (рис. 2.20). С помощью этих трансформаторов можно питать и несимметричные цепи; при этом требования к конструкции трансформатора упрощаются.

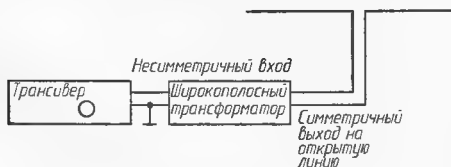


Рис. 2.19. Использование широкополосного симметрирующего трансформатора

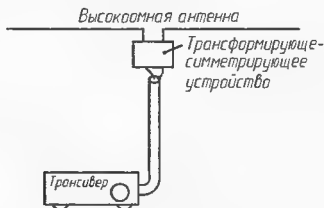


Рис. 2.20. Широкополосный симметрирующий трансформатор на антенне

Схема широкополосного трансформатора с коэффициентом трансформации $K_{тр} = 1:4$ и симметричным выходом показана на рис. 2.21. При работе трансформаторов на несимметричную нагрузку его следует включить по схеме, показанной на рис. 2.22. Для сердечника этого трансформатора желательно использовать ферритовое кольцо диаметром 30...100 мм проницаемостью 100...600. Можно использо-

вать кольцо проницаемостью 600 от отклоняющей системы телевизора. Число витков трансформатора составит 10...20. Желательно тестирование трансформатора на диапазонах его работы. Хорошие результаты получаются при выполнении трансформатора из тонкого коаксиального кабеля; при этом центральная его жила включается в обмотку 2–4, а оплетка кабеля является обмоткой 1–3 трансформатора. Неплохие результаты дает выполнение обмотки из витой пары проводов толщиной 0,7...1 мм во фторопластовой изоляции или проводов в лаковой изоляции типа ПЭЛ и диаметром 0,5...0,7 мм. Конструкция такого трансформатора показана на рис. 2.23.

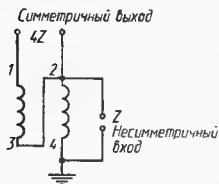


Рис. 2.21. Широкополосный трансформатор ($K_{тр} = 1:4$) с симметричным выходом

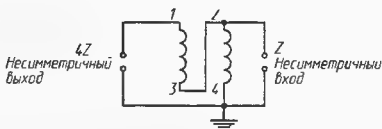


Рис. 2.22. Широкополосный трансформатор ($K_{тр} = 1:4$) с несимметричным выходом

Схема симметрирующе-трансформирующего устройства $K_{тр} = 1:9$ показана на рис. 2.24, а на рис. 2.25 — схема несимметричного трансформатора $K_{тр} = 1:9$. Обмотки трансформатора содержат по 10...20 витков, намотаны трифилярно по способу, показанному на рис. 2.13 или 2.14. Использование в этой системе витой пары проводов дает худший результат, чем в трансформаторах на рис 2.21 и 2.22. Сердечник в этом трансформаторе аналогичен сердечнику трансформатора $K_{тр} = 1:4$.

Трансформаторы с коэффициентом трансформации 1:4 и 1:9 наиболее широкополосны и, при правильном их выполнении, работают в широком диапазоне частот, реально от 1,8 до 30 МГц. С помощью этих трансформаторов можно согласовать практически любые стандартные открытые линии с кабелем волновым сопротивлением 50 или 75 Ом.

Но если радиолюбитель использует самодельную или суррогатную линию передачи волновым сопротивлением, отличающимся от 300, 450 и 600 Ом, то, возможно, придется использовать симметрирующе-трансформирующее устройство с переменным коэффициентом передачи (рис. 2.26).

Как видно из схемы трансформатора, он представляет собой трансформатор с начальным коэффициентом трансформации 1:4 (при подключении всей обмотки трансформатора в работу). При переключении отвода от трансформатора ближе к «земле» коэффициент трансформации возрастает, реально он может быть равен 1:10 при сохранении широкополосности трансформатора. Подобно трансформатору 1:4, показанному на рис. 2.21, трансформатор с переменным коэффициентом трансформации можно переключить на несимметричный выход (рис. 2.27).

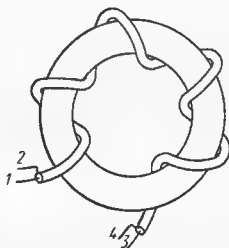


Рис. 2.23. Конструкция широкополосного трансформатора 1:4

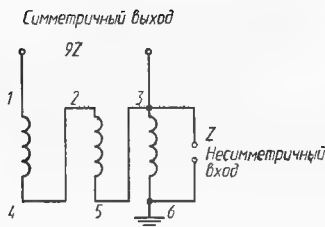


Рис. 2.24. Широкополосный трансформатор с $K_{\text{тр}} = 1:9$ и симметричным выходом

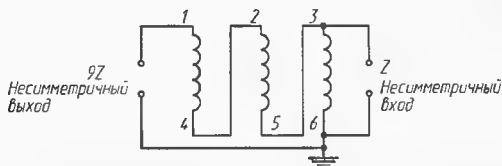


Рис. 2.25. Широкополосный трансформатор с $K_{\text{тр}} = 1:9$ и несимметричным выходом

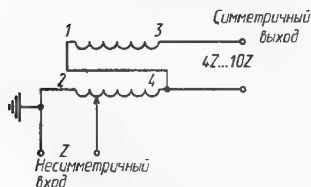


Рис. 2.26. Широкополосный трансформатор с переменным коэффициентом трансформации и симметричным выходом

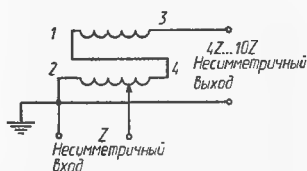


Рис. 2.27. Широкополосный трансформатор с переменным коэффициентом трансформации и несимметричным выходом

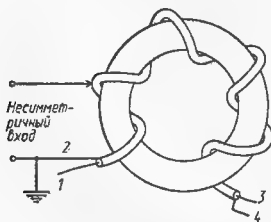


Рис. 2.28. Конструкция широкополосного трансформатора с переменным коэффициентом трансформации

Практическая реализация трансформатора ясна из рис. 28. Трансформатор намотан тонким коаксиальным кабелем со снятой изоляцией. Первоначальное число витков трансформатора приблизительно равно 25. Затем, подключая выход передатчика к разным точкам оплетки кабеля (можно с помощью «крокодилов»), из которого выполнена обмотка трансформатора, уменьшением числа витков, добиваются оптимальной работы трансформатора в необходимом диапазоне частот. *Настройка трансформатора с переменным коэффициентом трансформации необходима, и если ее не производить, эффективность использования этого симметрирующе-трансформирующего устройства будет мала.*

УПРОЩЕННОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ

К сожалению, даже сейчас в некоторых регионах России невозможно приобрести ферритовые изделия, необходимые для выполнения симметрирующих и трансформирующе-симметрирующих устройств. Наиболее простой вариант в этом случае — использование сердечника от отклоняющей системы телевизоре.

При использовании антенны на прием или только для QRP-работы с мощностями не выше 25 Вт подобные устройства можно выполнить на ферритовом стержне с магнитной антенной в приемниках длинных — средних волн. Сердечник может быть как круглым, так и плоским. В этом случае широкополосность трансформатора и симметрирующего устройства будет меньше, чем при использовании ферритового кольца. Потребуется и более тщательная настройка трансформатора.

В [1] было предложено выполнить сердечник трансформатора из таких ферритовых пластин (рис. 2.29). Как указывалось, трансформатор, имеющий площадь сечения 1 см^2 , обеспечивает мощность, не менее 100 Вт. Ферритовые пластины разрезались с помощью устройства, схема которого показана на рис. 2.30. На отрезаемом участке проводят карандашом типа М, 2М линию. Затем двумя остро заточенными электродами, включенными в сеть 220 В

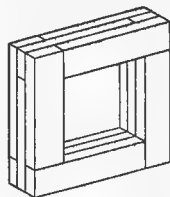


Рис. 2.29. Конструкция сердечника широкополосного трансформатора

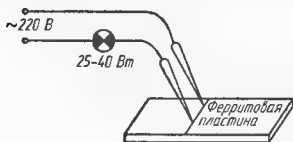


Рис. 2.30. Устройство для резки ферритовых пластин

через лампу накаливания или паяльник мощностью 25...40 Вт, «вытягивают» по длине 2...3 мм пластины дуги и постепенно перемещают ее от начала линии к ее концу. После этого по выжженной борозде пластину можно легко сломать руками. Так можно резать не только плоские, но и круглые стержни.

Сердечник склеивают клеем типа «Момент», затем скрепляют узкой изоляцией типа ПВХ или узкой липкой лентой типа «Скотч».

Симметрирующе-трансформирующие устройства, выполненные на ферритовом стержне, содержат в 1,5 раза больше витков, чем аналогичные устройства на торроиде. Трансформатор, выполненный на сердечнике, склеенном из ферритовых пластин, содержит такое же число витков, что и симметрирующе-согласующие устройства на тороидальном сердечнике.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФЕРРИТОВ В СИММЕТРИРУЮЩЕ-ТРАНСФОРМИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ

Перед выполнением обмоток необходимо с помощью немагнитного абразива — наждачной шкурки или точильного камня, обработать острые грани тороидов или ферритовых пластин, чтобы они не поразали изоляцию провода обмоток. В этой связи необходимо отметить, что в сердечниках из карбонильного железа грани не острые и не могут повредить изоляцию провода. Более того, если даже это произошло, то не скажется на работе трансформатора, так как сопротивление этого кольца составляет мегаомы. Сопротивление ферритового материала велико; оно может находиться в пределах 10...100 кОм и замыкание нескольких витков на сердечник не

приведет к выходу из строя *симметрирующе-трансформирующего устройства* при работе на прием. Но при работе на передачу разряд, возникающий по поверхности феррита, приведет к негодности сердечника устройства. *Промышленные симметрирующе-трансформирующие устройства* часто выполняют на неизолированном ферритовом сердечнике. Но все-таки лучше перед намоткой трансформатора обмотать сердечник любой изоляционной лентой (ПВХ, «Скотч», стеклотканью). При выполнении трансформатора по рис. 2.28 (с голой жилой) изоляция сердечника обязательна.

Ферритовый сердечник подвержен коррозии во влажной среде. Без тщательной защиты от влаги трансформатора, сердечник со временем покроется слоем окисла, влага проникнет между зернами, образующими ферритовый сердечник, что может привести к его разрушению. Защитить сердечник от влаги можно с помощью прочного лака или прочной краски. Желательно поместить *симметрирующе-трансформирующее устройство* в диэлектрическую коробку. Это может защитить сердечник симметрирующего устройства от повреждения при случайном падении антенны. *Сердечники из карбонильного железа* практически не подвержены окислению.

Наибольшую опасность для ферритов симметрирующе-трансформирующего устройства представляет попадание молнии в антенну. При этом *ферритовый сердечник* может быть разрушен из-за значительного тока, протекающего по внешней оплетке кабеля. Даже если энергии молнии не хватит для механического разрушения феррита, значительные токи могут намагнитить сердечник, что приведет к его неспособности работать в качестве ферритового изделия.

При намагничивании сердечника резко возрастает КСВ антенн фидерного тракта, где используется симметрирующее устройство с ферритовым сердечником. *Трансформирующе-симметрирующее устройство* с намагниченным сердечником не может работать в качестве трансформатора. Некоторые радиолюбители, которые использовали симметрирующе-трансформирующие устройства на ферритовых сердечниках совместно с антеннами, особенно на диапазонах 80...160 м, уже убедились в справедливости сказанного. Феррит может размагнититься независимо от его расположения: на антенне или радиостанции в согласующем устройстве.

Выход из этого положения может быть в использовании достаточно больших ферритовых изделий, которые может намагнитить лишь ток большой величины. *Сердечники из карбонильного железа* менее подвержены намагничиванию, но они и стоят дороже. Все же симметрирующе-трансформирующие устройства с применением ферритов все чаще входят в практику радиолюбителей, несмотря на отмеченные недостатки. Следует упомянуть что, можно создать трансформаторы с высоким КПД практически с любым коэффициентом трансформации — как дробным, так и выраженным в целых числах [2], [3]. Но эти трансформаторы еще не получили широкого распространения среди радиолюбителей из-за некоторых сложностей, связанных с их расчетом и изготовлением. Но, можно надеяться, что в недалеком будущем трансформаторы этих типов будут использоваться радиолюбителями.

ТЕСТИРОВАНИЕ СИММЕТРИРУЮЩЕ-ТРАНСФОРМИРУЮЩИХ ЦЕПЕЙ

Тестирование симметрирующих устройств имеет свои особенности. Наиболее простая проверка симметрирующего устройства — это проверка на КСВ. Для этого собирают стенд по схеме на рис. 2.31. К трансиверу через КСВ-метр и коаксиальный кабель подключают согласованную нагрузку и убеждаются в возможности получения КСВ = 1 этой системы на всех диапазонах измерения параметров симметрирующего устройства. Затем включают симметрирующее устройство по схеме на рис. 2.32 и измеряют КСВ системы. Он не должно быть более 1,3. В противном случае необходима настройка симметрирующего устройства.

Для схем, показанных на рис. 2.1, 2.4 и 2.5, при точном соблюдении размеров КСВ, близкий к 1, достигается автоматически. Остальные устройства, где использу-

ются ферритовые сердечники, могут потребовать дополнительной наладки — подбора числа витков. Сопротивление нагрузки в схеме, показанной на рис. 2.32, должно быть равным выходному сопротивлению симметрирующего устройства. Для простого симметрирующего устройства это сопротивление равно волновому сопротивлению используемого кабеля. В случае использования симметрирующе-трансформирующих устройств сопротивление нагрузки выбирается с учетом коэффициента трансформации.

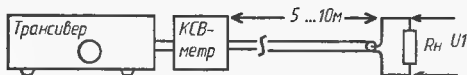


Рис. 2.31. Стенд для проверки КСВ нагрузки

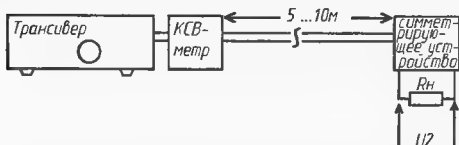


Рис. 2.32. Стенд для проверки КСВ симметрирующе-трансформирующих цепей

Данные измерения производят на небольшой мощности (10...15 Вт). После этого измеряют КПД системы. Для этого определяют мощность на нагрузке в схеме измерения, собранной по рис. 2.31, и мощность в нагрузке на выходе симметрирующего устройства по схеме на рис. 2.32. ВЧ вольтметр для проведения измерений не должен питаться от сети, должен иметь малую емкость на землю. Очень удобно проводить измерения, используя малогабаритный цифровой тестер совместно с ВЧ щупом (рис. 2.33). Параметры радиоэлементов приведены для тестера с входным сопротивлением 10 МОм, которые имеют большинство современных цифровых тестеров. Постоянное напряжение, фиксируемое тестером, соответствует действующему высокочастотному напряжению на нагрузке. КПД симметрирующего устройства должен быть не менее 90%, а КПД симметрирующе-трансформирующего устройства — не менее 80%. Если КПД меньше указанных значений, то необходимо произвести подстройку симметрирующе-трансформирующего устройства. Эту подстройку можно выполнить, изменяя число витков в обмотках согласующего устройства. После определения КПД на мощности 10...15 Вт необходимо постепенно увеличивать мощность до уровня, на котором предполагается использовать симметрирующе-трансформирующее устройство, и на каждом шагу измерять КПД устройства.

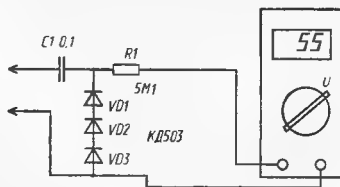


Рис. 2.33 Схема измерения высокочастотного напряжения с помощью цифрового вольтметра

После превышения некоторого уровня мощности, КПД устройства падает, и сердечник симметрирующе-трансформирующего устройства перегревается из-за возрастающих в нем потерь. На разных диапазонах вероятнее всего будет и разная пороговая мощность, на которой происходит падение КПД устройства. Естественно, что на пороговых мощностях использовать это симметрирующе-согласующее устройство нельзя. Мало того, что из-за возрастающих потерь в феррите сердечник может перегреться и устройство выйдет из строя, но при больших мощностях возможно продуцирование гармоник на ферритовом сердечнике, что приведет к появлению помех другим радиоприемным устройствам. Следует заметить, что на этих *нелинейных свойствах феррита* в полях высокой мощности основан принцип действия мощных ферритовых умножителей частоты первых радиостанций, использовавших в качестве генератора машины высокой частоты.

Наиболее важным для тестирования симметрирующе-трансформирующего устройства является измерение коэффициента асимметрии. Схема измерения показана на рис. 2.34. Измерять коэффициент асимметрии необходимо на мощностях 10...15 Вт. Тестированию следует подвергать устройства, прошедшие тест на КСВ и КПД. Измерение коэффициента асимметрии основано на принципе: идеально симметризованная цепь имеет в своем центре нулевой потенциал относительно «земли» несимметричного коаксиального кабеля. Нулевой потенциал существует благодаря противофазности напряжений в этих точках.

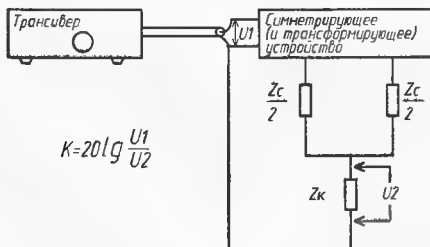


Рис. 2.34. Схема измерения коэффициента асимметрии

Вначале измеряют напряжение асимметрии на сопротивлении, равном волновому сопротивлению кабеля, включенного между «землей» и «серединой» нагрузки симметрирующего устройства. Эта схема предложена в [4], и с ее помощью можно проводить измерения коэффициента асимметрии, значение которого устройство теоретически может обеспечить, работая на симметричную относительно «земли» коаксиального кабеля и согласованную нагрузку. Симметрирующие устройства можно условно разделить на три группы:

- удовлетворительные, при $K_{AC} \geq 30$ дБ (отношение напряжений 1/32);
- хорошие, при $K_{AC} \geq 40$ дБ (отношение напряжений 1/100);
- очень хорошие, при $K_{AC} \geq 50$ дБ (отношение напряжений 1/1000).

При испытании устройств, показанных на рис. 1, 4, и 5, было получено значение $K_{AC} \geq 40$ дБ на частоте 28 МГц.

При испытании устройств, показанных на рис. 7, 8 и 10, было получено значение K_{AC} не менее 30 дБ.

При испытании устройства, показанного на рис. 12, было получено значение $K_{AC} \geq 40$ дБ.

При испытании устройств, показанных на рис. 15, 16 и 17, было получено значение K_{AC} не менее 30 дБ.

При испытании трансформаторов с $K_{\text{тр}} = 1:4, 1:6$, было получено значение $K_{\text{ас}}$ не менее 30 дБ.

Все симметрирующе-трансформирующие устройства перед измерением коэффициента асимметрии были протестированы на КСВ и КПД.

Следует отметить, что измеренный коэффициент асимметричности имеет теоретический характер и показывает, какой величины коэффициент асимметрии может быть достигнут при идеальной нагрузке. Рвальная нагрузка вероятнее всего будет несимметрична относительно «земли» несимметричного кабеля вследствие разного влияния дестабилизирующих факторов вдоль полотна антенны. Можно с уверенностью сказать, что сопротивление реальной нагрузки также будет отличаться от выходного сопротивления симметрирующе-трансформирующего устройства. Все это приведет к тому, что реальный коэффициент асимметричности будет ниже на 3...6 дБ, чем полученный на стенда (рис. 2.34) при идеальных параметрах окружения испытываемого симметрирующего устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасов А. (UA3ALJ). Магнитопровод согласующего трансформатора.— Радио, 1991, № 2, с. 25.
2. Захаров В. (UA3FU). Согласующие устройства на ферритовых магнитопроводах.— Радио, 1987, № 2, с. 26.
3. Гончаренко И. (EU1TT). Широкополосные трансформаторы на ступенчатых линиях.— Радиолюбитель. КВ и УКВ, 1996, № 8, с. 33, № 9, с. 32.
4. Беньковский З., Лигинский Э. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн: Пер с польск.— М.: Радио и связь, 1983, 480 с.
5. Подгорный И. (EW1MM). Универсальное антенное согласующее устройство.— Радиолюбитель, 1994, № 8, с. 44.

ГЛАВА 3

АНТЕННЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ

Антенный изолятор является одним из конструктивных элементов антенн. Использование несоответствующих типу антенны изоляторов может привести к преждевременному выходу из строя антенны или даже к полной неработоспособности вскоре после ее установки. Если совсем недавно антенные изоляторы были малодоступны радиолюбителям, а среди распространенных были в основном изоляторы невысокого качества, то сейчас на нашем рынке появились зарубежные изоляторы повышенного качества и подобные изделия отечественного производства, в основном предприятий ВПК.

ПАРАМЕТРЫ АНТЕННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Антенные изоляторы (АИ) характеризуются рядом своих параметров, которые необходимо учитывать при их использовании. Рассмотрим эти параметры.

Емкость антенного изолятора. Каждый изолятор характеризуется собственной емкостью, которая образуется за счет емкости полотна антенны через изолятор на провод оттяжки. Желательно, чтобы емкость АИ была минимальной, поскольку дополнительная емкость, вносимая в антенну, расстраивает ее. Емкостные токи между антенной и оттяжками отводят часть мощности, подводимой к антенне, на землю. Уменьшают это вредное явление несколькими путями. Если невозможно использовать изоляторы с малой емкостью, то применяют такое построение антенной системы, когда собственная емкость изолятора не играет существенной роли. При АИ, имеющих значительную собственную емкость, используют гирлянды изоляторов. Вместо металлических оттяжек антенны применяют синтетические. Решить проблему снижения емкости АИ можно за счет их конструкции. Для этого увеличивают рас-

стояние между полотном антенны, закрепленном в изоляторе, и оттяжкой. Этот способ приводит к увеличению размеров изоляторов и не всегда осуществим на практике. Использование материалов с малой диэлектрической проницаемостью ведет к удорожанию АИ, и тоже не всегда возможно. Наибольшую собственную емкость имеют широко распространенные среди наших радиолюбителей *ореховые изоляторы*.

Пробивное напряжение изолятора. Это напряжение, при котором наступает пробой изолятора и в следствие этого возникает ток между полотном антенны и металлической оттяжкой, который ограничен только мощностью передатчика. Пробивное напряжение существенно зависит от частоты высокочастотного напряжения, приложенного к изолятору. При увеличении частоты значительно возрастают *диэлектрические потери* в материале, что в конечном итоге ведет к пробую АИ.

С увеличением высокочастотного напряжения может произойти *лавинообразный пробой АИ* как по поверхности АИ, так и сквозь его материал. Последний случай — самый нежелательный. Этот пробой сопровождается обычно проплавлением или прожиганием изолятора, после которого изолятор уже не может восстановить свои свойства. Обугленный канал имеет малое сопротивление, и изолятор, по сути, превращается в обыкновенный проводник. Прожженный канал затягивает влагу, из-за продуктов разложения материала, возникающих при его пробое, образуется хорошо проводящий жидкостный канал.

Наиболее часто происходит *поверхностный пробой*. На изолятор налипают частицы сажи, пыли, полив кислотными дождями приводит эту смесь в проводящее состояние. В результате возникает пробой по поверхности изолятора. Обычно этот пробой носит кратковременный характер и после прожигания проводящего слоя прекращается. В темноте можно заметить, как по поверхности изолятора пробегают «змейки» или же он весь охвачен разрядом. К сожалению, после нескольких таких разрядов часто происходит разрушение поверхностного слоя материала АИ, его адгезирующая способность резко повышается, частицы пыли налипают на изолятор интенсивнее и поверхностный пробой повторяется все чаще и чаще. В конце концов это может привести к повреждению внешней поверхности изолятора, и она станет обычным плохим проводником.

Такой вид пробоя встречается наиболее часто в городах, особенно вблизи крупных промышленных предприятий. Этому виду пробоя наиболее подвержены ореховые изоляторы, имеющие малое расстояние между проводниками антенны и оттяжками, и способствующие накоплению пыли вследствие своих конструктивных особенностей.

Есть еще один вид пробоя — *дуговой*, когда из-за высокого напряжения, действующего между полотном антенны и проводником оттяжки, возникает пробой воздуха между ними, и в этом канале возникает электрическая дуга. Обычно электрическая дуга переходит из воздуха на поверхность изолятора и прожигает ее, что приводит АИ к полной негодности. *Дуговой разряд* наиболее вероятен в сырую погоду. Этот вид пробоя в радиолюбительских условиях встречается редко и возможен при повышенных мощностях или при работе на диапазоне 136 кГц, где используются резонансные настроенные антенны.

Влагостойкость. АИ находятся под непрерывным воздействием атмосферных условий. Из-за наличия водяных паров в воздухе поверхность изолятора всегда покрыта тонким слоем влаги. Вода, проникая в капилляры изолятора, снижает его объемное сопротивление, ухудшая физические свойства из-за расширения во время своего замерзания. Очень хорошо впитывают влагу *неглазурованные керамические изоляторы*, поверхность которых покрыта крупными порами. Практически не впитывают влагу фторопластовые и некоторые *пластиковые изоляторы*; их поверхность отталкивает воду. Это означает, что пленка воды по поверхности изолятора распределена не равномерно, а в виде шариков, которые постепенно скатываются с поверхности АИ вниз под действием силы тяжести. На неглазурованных керамических изо-

ляторах вода распределена в виде тонкой пленки. То же самое относится и к стеклянным изоляторам, которые радиолюбители иногда используют. Вследствие своих физических свойств *стеклянные изоляторы* хорошо удерживают на своей поверхности пленку влаги. Естественно, что такие типы изоляторов наиболее подвержены *поверхностному разряду*.

Прочность. Эта характеристика очень важна для АИ. Она показывает, какое усилие необходимо применить для физического разрушения изолятора. Обычно радиолюбители определяют *прочность изолятора* «на глазок». Здесь должен действовать принцип — чем прочнее, тем лучше. Но, конечно, до определенных пределов. Не следует использовать тяжелые и громоздкие изоляторы для построения легких проволочных антенн.

Стойкость к действию излучений. АИ, находящиеся на открытом воздухе, подвержены воздействию ультрафиолетового излучения солнца — свету. Под этим воздействием происходит деградация многих пластмасс. Наименее подвержены этому воздействию *кварцевые, стеклянные, фторопластовые изоляторы*. Часто из-за нестойкости к воздействию света и происходит разрушение самодельных АИ, для выполнения которых использовались случайные типы пластмасс.

Теплостойкость и морозостойкость. Для России теплостойкость не имеет существенного значения, хотя многие пластиковые изоляторы теряют свою механическую и частично электрическую прочность при нагреве свыше 60...70 °С. Большее значение имеет морозостойкость, так как при минус 20...30 °С многие прочные материалы становятся хрупкими, и возможно разрушение антенного изолятора. Наиболее морозо- и теплостойкими являются *керамические изоляторы*. Необходимо отметить, что при температуре ниже минус 50 °С и эти типы изоляторов становятся слишком хрупкими.

МАТЕРИАЛЫ АНТЕННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Исходя из сказанного очевидно, что оптимальный материал для АИ — керамика. Антенные изоляторы, выполненные из специальной керамики или радиотехнического фарфора, являются наиболее предпочтительными для применения в антенной технике. Необходимо, чтобы их поверхность была глазурованной — т. е. блестящей и стекловидной. Без этого покрытия изоляторы использовать для построения передающих антенн не следует. В последнее время в продаже появились такие дешевые керамические неглазурованные изоляторы, но они могут обеспечить работу антенны лишь на прием, и никак не на передачу.

Для радиолюбителей выпускаются дешевые пластиковые изоляторы. Они имеют хорошие электрическую прочность и влагостойкость. Их недостатки — малая механическая прочность и подверженность воздействию света, что с течением времени еще более снижает механическую прочность и приводит к разрушению изолятора.

Хорошие результаты можно получить при выполнении изоляторов из фторопластов. Такие изоляторы не выпускаются отечественной промышленностью из-за дороговизны материала, но автору приходилось встречать самодельные и импортные АИ из фторопласта и слышать прекрасные отзывы об их работе.

Иногда встречаются изоляторы, выпущенные в 40–50-х годах. Они изготавливались из эбонита, текстолита, гетинакса. Несмотря на свою древность, эти изоляторы сохранили свои параметры. Исходя из опыта автора, можно рекомендовать радиолюбителям использовать эти материалы в конструкциях АИ. Главное при этом — выполнить их достаточно большими по размеру.

Стекло обычно используют для изготовления изоляторов, применяемых в сетях передачи переменного тока частотой 50 Гц, и некоторых *антенных опорных изоляторов*. Для изоляторов используется специальное стекло. Такие изоляторы имеют высокие параметры. Из-за хрупкости стекла эти изоляторы обычно имеют повышенные

размеры по сравнению с изоляторами других типов и радиолюбителями используются очень редко.

Особо необходимо выделить *деревянные изоляторы*. Выполненные из проваренного в парафине 15...30 мин высушенного дуба, они по своим параметрам уступают только керамическим изоляторам. Для изготовления деревянных изоляторов можно использовать дубовый паркет или высушенные при комнатной температуре дубовые заготовки.

Такие изоляторы имеют высокую влагостойкость, а благодаря прочности древесины дуба — высокую механическую прочность. Они не подвержены температурным воздействиям (в условиях России) и излучению солнца. Антенна с такими изоляторами служит автору более двадцати лет. За это время на других антеннах разрушились *пластиковые изоляторы*, лопались керамические, а деревянные продолжают служить.

Оргстекло, используемое для изготовления *самодельных изоляторов*, имеет низкую радиационную стойкость и в течение нескольких лет АИ разрушается.

Случайные пластмассы, применяемые для изготовления самодельных АИ, часто ведут к преждевременному выходу антенной системы из строя. Такие изоляторы разрушаются обычно из-за снижения механической прочности под действием высоких и низких температур и света. Некоторые виды синтетических пластмасс имеют низкую влагостойкость, сравнительно низкую электрическую прочность. Используя такие изоляторы, следует помнить, что срок их службы невелик.

КОНСТРУКЦИИ АНТЕННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

В прежние годы наибольшее распространение получили *ореховые изоляторы* (рис. 3.1). Они выпускались отечественной промышленностью от миниатюрных размеров до величины с небольшой арбуз. Особенность ореховых изоляторов состоит в том, что при их разрушении провод оттяжки находится в петле полотна антенны и она не падает. Но при этом антенна не обеспечивает нормальную работу радиостанции.

Ореховые изоляторы обеспечивают значительную емкость между антенной и оттяжкой — до нескольких пикофард. Но из-за конструктивных особенностей ореховых изоляторов они подвержены накоплению пыли и грязи на своей поверхности, что способствует *поверхностному пробоя* при больших подводимых мощностях к антенне.



Рис. 3.1. Ореховый изолятор

Для работы в передающих антеннах применяют только керамические и глазурированные изоляторы. Неглазурированные керамические изоляторы нежелательно использовать в конструкциях передающих антенн из-за возможного *поверхностного* или *объемного пробоя*, но ими можно «разбить» оттяжки мачт.

Пластиковые ореховые изоляторы лишены этих недостатков, но имеют невысокую механическую прочность и подвержены старению под воздействием солнечных лучей. Эти изоляторы можно использовать как временные, при экспериментах с антеннами. Ореховые изоляторы можно изготовить из подходящего синтетического материала или дерева с последующей обязательной пропиткой в парафине.

Изоляторы с гофрированной поверхностью (рис. 3.2) широко применяются в профессиональной антенной технике. Существует множество таких изоляторов, отличающихся друг от друга размерами, материалом и формой выполнения (рис. 3.2а–г).

Изоляторы этого типа имеют минимальную емкость антенны на оттяжку — доли пикофард. Вследствие волнистой поверхности, даже при сильном загрязнении и увлажнении изолятора его поверхностное сопротивление остается довольно высоким, и поверхностный пробой маловероятен. Противники применения изоляторов с гофрированной поверхностью утверждают, что при механическом разрушении изо-

лятора антенна падает. При этом становится очевидным повреждение антенны, которое следует устранить.

Плоские антенные изоляторы (рис. 3.3) представляют собой пластину из прочного диэлектрика, на концах которой запрессованы и развальцованы медные трубки. Эти изоляторы выпускались отечественной промышленностью одними из первых. Их можно сделать и самостоятельно, используя в качестве диэлектрика толстый текстолит, стеклотекстолит, гетинакс или дерево, проваренное в парафине. Трубки, предохраняющие изолятор от повреждения проводом, можно и не запрессовывать, так же можно не делать пропилы под провод. При качественном изготовлении такие изоляторы могут служить десятки лет на открытом воздухе.

Особый класс изоляторов — для *линий передач* (рис. 3.4), называемых «распорками». Они представляют собой небольшие керамические или выполненные из синтетического материала палочки (рис. 3.4а), пластинки (рис. 3.4б). Иногда такие изоляторы выполняют как показано на рис. 3.4в, когда в пластину из синтетического материала по ее краям ввернуты два стальных шурупа с головками под проводники. Самодельные подобные изоляторы часто выполняют из стеклотекстолитовых полосок, которые имеют хорошую механическую прочность и влагостойкость.

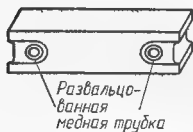


Рис. 3.3. Плоские антенные изоляторы

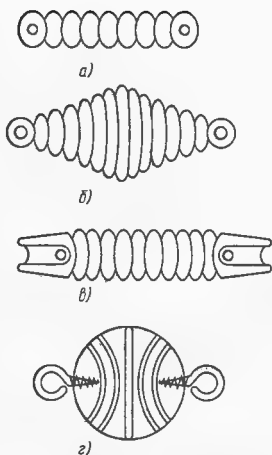


Рис. 3.2. Изоляторы с гефированной поверхностью

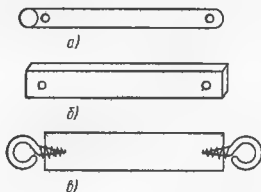


Рис. 3.4. Изоляторы линий передач

Реже находят применение специальные центральные изоляторы дипольных антенн и опорные изоляторы штыревых антенн.

Опорные изоляторы штыревых антенн служебных станций УКВ диапазона можно использовать только в конструкциях антенн на диапазоны 2... 15 м, так как их механическая прочность невелика.

Иногда используются оригинальные конструкции самодельных опорных изоляторов. Наиболее простая конструкция выполнена из двух параллельных пластин (рис. 3.5).

Существует также множество кермических трубок, предназначенных для ввода в помещение однопроводной антенны или двухпроводной линии передачи. Но эти

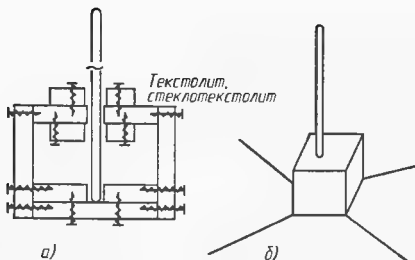


Рис. 3.5. Самодельный опорный изолятор

трубки имеют сравнительно большой внешний диаметр, и радиолюбителями используются редко. Обычно для ввода-вывода двухпроводной линии питания антенны или однопроводной антенны используют толстый коаксиальный кабель со снятой оплеткой.

ДРУГИЕ ТИПЫ АНТЕННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Радиолюбители часто используют *суррогатные антенные изоляторы*, т. е. изоляторы, изначально не предназначенные для работы в антенной технике. Классическим примером такого изолятора является *роликовый изолятор*, предназначенный для внутренней настенной электропроводки. В прежние годы промышленность выпускала большое количество таких изоляторов, и до сих пор их еще можно встретить в продаже. Роликовые изоляторы сделаны очень добротно, имеют внешнюю глазурованную поверхность и внутреннюю неглазурованную. Способ установки этих изоляторов в полотно антенны показан на рис. 3.6. Роликовые изоляторы образуют большую емкость антенны с оттяжкой (2...3 пФ). Механически они достаточно прочны, но уступают ореховым изоляторам. Роликовые изоляторы подвержены пыли и в результате их поверхностная проводимость может быть высокой.

Иногда при построении антенн применяют изоляционные колодки от различных электротехнических устройств, выполненных как на керамической, так и на синтетической основе. При достаточной прочности таких колодок их вполне можно использовать в антенной технике. Следует только учитывать, что поскольку эти изделия не предназначены для работы под воздействием атмосферы и при высоких механических нагрузках, они могут выйти из строя и применять их следует крайне осторожно. Добротно выполненный самодельный антенный изолятор работает лучше и надежнее случайного суррогатного.



Рис. 3.6. Роликовый изолятор в полотне антенны



Рис. 3.7. Капроновая веревка в качестве оттяжки

В конце концов, для растяжки антенны можно использовать достаточно прочную капроновую веревку, сделав несколько петель веревки и провода друг с другом (рис. 3.7). Антенна с такими оттяжками может работать до десяти лет на открытом воздухе. Недостаток капроновой веревки состоит в том, что она со временем растягивается.

ГЛАВА 4

ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

В состав антенно-фидерного тракта входят фидеры питания антенн. Эффективность работы антенны во многом зависит от конструкции антенно-фидерного тракта. Поэтому к построению фидеров следует относиться не менее тщательно, чем к самой антенне. От качества построения линии передачи зависит работа антенны, а при выходе из строя фидерного тракта можно говорить о выходе из строя всей антенно-фидерной системы.

Ниже предлагаются полезные мелочи и простые советы, которые окажут помощь при вводе и построении фидерного тракта антенн; даются некоторые сведения о фидерах питания антенн, приводятся практические рекомендации по их построению в радиолюбительских условиях.

СТАНДАРТНЫЕ ВОЛНОВЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧ

На заре развития антенной техники коротких волн для радиосвязи использовались антенны, на длине которых укладывалось целое число полуволн. Входное сопротивление таких антенн было высоким — килоомы. Позже широко использовались и другие типы высокоомных антенн, например петлевой диполь. Использование высокоомных антенн в то время было вполне оправдано, так как передатчики полностью строились на лампах, а ламповый выходной каскад обладает высоким выходным сопротивлением. В результате этого упрощалась конструкция согласующих цепей между выходной лампой передатчика и антенной.

В то время был принят стандарт волнового сопротивления открытых линий 300, 450, 500, 600 Ом и до настоящего времени выпускаются линии, рассчитанные именно на это волновое сопротивление. Линией волновым сопротивлением 300 Ом удобно питать петлевой диполь, имеющий такое же волновое сопротивление. Линия волновым сопротивлением 450 Ом оптимально подходит для питания широкополосных нагруженных антенн бегущей волны — типа антенны Бевереджа, ромбической антенны. Линия волновым сопротивлением 600 Ом используется совместно с антеннами, имеющими в точках питания узел напряжения и, следовательно, высокое входное сопротивление. Это сопротивление может быть в пределах 500...2000 Ом в зависимости от конструктивных особенностей антенны. Линия волновым сопротивлением 600 Ом вполне подходит для питания таких антенн. Она работает с допустимым уровнем КБВ и, следовательно, высоким КПД. Линия с волновым сопротивлением более 600 Ом вследствие ее конструктивных особенностей имеет небольшой КПД. Линия волновым сопротивлением 500 Ом имеет немного больший КПД, чем линия сопротивлением 600 Ом, и используется в антенной технике чаще 600-омной линии при питании высокоомных антенн.

Первоначально линии передачи, подобные коаксиальной, использовались для прокладки подводных линий электросвязи по дну морей и океанов. Позже эти линии трансформировались в привычные нам коаксиальные кабели и стали использоваться в системах радиосвязи. В первое время волновые сопротивления коаксиальных кабелей не были стандартизированы в мире и выпускались волновым сопротивле-

нием от 30 до 150 Ом. В настоящее время наиболее употребимы коаксиальные кабели волновым сопротивлением 50 и 75 Ом. Входное сопротивление 75 Ом имеет полуволновая дипольная антенна, и коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом был создан специально для ее питания. Вертикальный четвертьволновый вибратор, расположенный над идеальной проводящей поверхностью, имеет входное сопротивление 36 Ом.

Коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом — это компромиссный вариант между волновыми сопротивлениями 36 и 75 Ом. Кабелем волновым сопротивлением 50 Ом можно питать как диполь, так и штырь, используя совместно с этими антеннами очень простые согласующие устройства. Классическое исполнение такого устройства — *четвертьволновый трансформатор*. Используя 75-омный кабель с четвертьволновым трансформатором из 50-омного кабеля, можно питать нагрузку 36 Ом, т. е. четвертьволновую вертикальную антенну. Используя 50-омный кабель совместно с четвертьволновым трансформатором из кабеля волновым сопротивлением 75 Ом, можно запитывать антенну, имеющую входное сопротивление 112 Ом, т. е. волновую рамочную антенну. Как видим, используя коаксиальные кабели всего двух волновых сопротивлений, можно питать наиболее широко распространенные типы антенн. Трансформирующие устройства с $K_{\text{тр}} = 1:4, 1:9$ имеют очень простую конструкцию и позволяют достаточно просто осуществить переход от коаксиального кабеля на открытую линию передачи стандартного волнового сопротивления. Отечественная промышленность выпускает коаксиальные кабели с волновым сопротивлением ниже 50 Ом (16 и 25 Ом) и выше 75 Ом (100 и 120 Ом). Но эти типы коаксиальных кабелей узкоспециализированы, и радиолюбителями практически не используются.

ПОДВОД КОАКСИАЛЬНОГО КАБЕЛЯ

Радиолюбители, живущие в многоквартирных домах и имеющие антенны на крышах этих домов, обычно прокладывают коаксиальный кабель к радиостанции по стене дома. Это не оптимальный вариант его расположения. Кабель находится под воздействием атмосферных условий, что уменьшает период его эксплуатации.

Наиболее приемлемо прокладывать кабель в вентиляционных шахтах, которые обычно имеют выход на крыше или чердаке дома, а в квартире — на кухне или в ванной комнате. В самом простом случае кабель можно ввести через имеющиеся вентиляционные отверстия и развести его по квартире к радиостанции. Оптимальный вариант — сделать отверстие в вентиляционной шахте около пола и от него выполнить разводку антенного кабеля. Кабель, находящийся в вентиляционной шахте, не подвержен воздействию атмосферных условий и может служить бесконечно долго. Кабель, выходящий из вентиляционной шахты на уровне пола, незаметен и не портит интерьер квартиры.

КОНТРОЛЬ ИСПРАВНОСТИ КОАКСИАЛЬНОГО КАБЕЛЯ

Иногда возникает необходимость проверки *состояния исправности коаксиального кабеля*, идущего от трансивера к антенне. Для этого необходимо отсоединить кабель от антенны и провести ряд контрольных измерений его параметров. Первая проверка заключается в оценке состояния изоляции кабеля на утечку. Для определения этого параметра в коаксиальный кабель подают постоянное напряжение 200...600 В через токоограничивающий резистор сопротивлением 10...50 кОм и измеряют ток, протекающий в кабеле. В идеальном случае ток утечки должен быть равен нулю, в худшем — не более 5 мкА. Измерять столь малые значения тока могут далеко не все приборы и при их отсутствии можно воспользоваться ламповым вольтметром и измерять напряжение на кабеле при подключении его к источнику питания

через резистор сопротивлением 100...500 кОм. По «просадке» напряжения при подключении-отключении кабеля судят об утечке кабеля. При измерении сопротивления утечки кабеля необходимо в него подавать высокое напряжение. При наличии стандартного мегаомметра для проверки изоляции телефонных кабелей можно воспользоваться им. Сопротивление изоляции коаксиального кабеля должно быть не менее 50 кОм. Большее значение тока или меньшее сопротивление указывают на неисправность диэлектрика или на другие причины утечки.

После измерения утечки измеряют активное сопротивление коаксиального кабеля. Для этого замыкают кабель на конце антенны и измеряют его сопротивление с помощью цифрового омметра или моста, способного измерить сопротивление в доли Ома. Сопротивление замкнутого коаксиального кабеля длиной до 50 м должно быть не более 1 Ом. Большее активное сопротивление указывает на неисправность кабеля. В некоторых случаях удобно измерять не сопротивление замкнутого на конце кабеля, а сопротивление кабеля, нагруженного на сопротивление 30...50 Ом. По разнице сопротивлений системы кабель—резистор и точного сопротивления резистора определяют последовательно включенное с ним активное сопротивление кабеля. Это тестирование происходит на постоянном токе при использовании стандартного моста или на частотах 100 или 1000 Гц в некоторых цифровых омметрах. Если при этих измерениях возникнут сомнения в исправности кабеля, то на высокочастотном токе он тем более не будет работать.

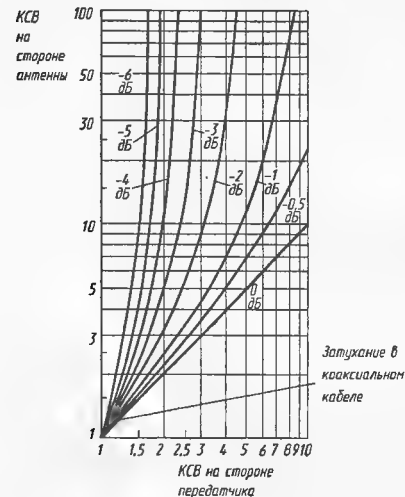


Рис. 4.1. Графики для определения активных потерь в кабеле

Таблица 4.1

ЗНАЧЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ НАГРУЗОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КСВ

КСВ		$Z_w = 50 \text{ Ом}$	$Z_w = 75 \text{ Ом}$
2	$R < Z_w$	25	37,5
	$R > Z_w$	100	150
3	$R < Z_w$	16,6	25
	$R > Z_w$	150	225
4	$R < Z_w$	12,5	18,7
	$R > Z_w$	200	300
5	$R < Z_w$	10	15
	$R > Z_w$	250	375

Дальнейшие измерения проводят на высокой частоте. Кабель нагружают на сопротивление, которое обеспечивает расчетный КСВ. В табл. 4.1 приведены значения нагрузочных сопротивлений для обеспечения КСВ, равными 2, 3, 4, 5, в кабеле волновым сопротивлением 50 или 75 Ом. Из теории длинных линий известно, что значение КСВ в начале питающего в антенну коаксиального кабеля зависит не только от степени согласования нагрузки с кабелем, но и наличия активных потерь в кабеле. Чем выше в кабеле уровень

потерь, тем «лучше» суммарный КСВ антенно-фидерной системы. Физически это можно объяснить тем, что и прямая, и отраженная волны затухают при распространении вдоль кабеля, и при индикации отраженная волна имеет меньшее значение в кабеле с большими потерями, чем при использовании кабеля с малыми потерями. При измерении входного сопротивления фидерного тракта с потерями на мостовом измерителе также наблюдается приближение входного сопротивления к волновому сопротивлению кабеля вследствие того, что кабель с потерями начинает действовать просто как активная нагрузка.

При определении потерь в антенном коаксиальном кабеле вместо антенны подключают нагрузку, обеспечивающую известный КСВ в кабеле, и определяют реальный КСВ антенно-фидерного тракта. Затем с помощью графиков, приведенных на рис. 4.1 определяют уровень потерь в кабеле. При измерениях можно использовать КСВ-метры отражательного или мостового типа. Желательно перед измерением КСВ антенно-фидерного тракта проконтролировать КСВ нагрузочного резистора при измерениях с кабелем, имеющим заведомо низкие потери. Эти измерения производят на частотах работы антенны. Измерения можно осуществлять и на других частотах.

СОЕДИНЕНИЕ КОАКСИАЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ

Каждый радиолюбитель рано или поздно сталкивается с этой проблемой. Иногда от антенны до радиостанции не хватает 1...2 м кабеля или при установке антенны имеющиеся отрезки кабеля слишком короткие и приходится сращивать их, причем места соединений кабелей могут находиться на открытом воздухе.

К тому же, кабель может нести какую-либо нагрузку, например, быть просто подвешенным в воздухе и нести нагрузку в виде собственного веса.

Из множества способов сращивания кабелей, описанных в литературе, можно выделить только два. Первый — когда происходит незапланированное сращивание кабеля на открытом воздухе, например при его ремонте (в сухую погоду).

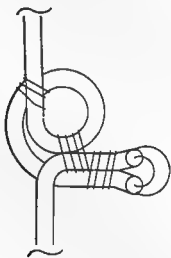


Рис. 4.2. Простое соединение коаксиальных кабелей



Рис. 4.3. Соединение коаксиальных кабелей с помощью отрезка такого же кабеля

Если место соединения кабелей нагружено, например, собственным весом, то наиболее просто соединение кабелей можно выполнить согласно рис. 4.2. Два кабеля скручивают мягкой медной или алюминиевой проволокой диаметром 0,8...2 мм. Концы кабелей разделяют, зачищают и соединяют между собой. Желательно осуществить паяное соединение жил и оплеток и места соединений залить водостойким клеем типа «Момент», «Суперцемент», а затем обмотать соединение изолентой.

Начало и конец изоленты закрепляют медным проводом диаметром 0,4...0,8 мм для устранения разматывания изоленты.

Другой вариант соединения кабелей показан на рис. 4.3. Соединяемые кабели прикрепляют к отрезку такого же кабеля мягкой медной или алюминиевой проволокой. Концы кабелей разделяют и соединяют пайкой. Затем концы кабеля заливают водостойким клеем и осуществляют гидроизоляцию изолентой.

Если кабельное соединение не несет нагрузки, например просто лежит на крыше, то можно применить упрощенное соединение коаксиальных кабелей, показанное на рис. 4.4. После пайки центральных жил осуществляется влагоизоляция изолентой по указанному выше способу. Следует обратить внимание, что центральные жилы соединяемых кабелей скручивают внахлест, а экраны кабелей сплетают друг с другом как можно плотней.



Рис. 4.4. Упрощенное соединение коаксиальных кабелей

Если соединение осуществляется в стационарных условиях и предполагается, что оно будет долго служить под воздействием атмосферных условий, то необходимо его поместить в муфту и обеспечить влагоизоляцию с помощью парафина или смолы (гудрона). Как показывает опыт, бытовая эпоксидная смола гигроскопична, и с течением времени накапливает влагу, что может привести к выходу из строя этого соединения. Если есть возможность приобрести специальную эпоксидную смолу, предназначенную для заливки муфт и не боящуюся влаги, то лучше использовать ее.

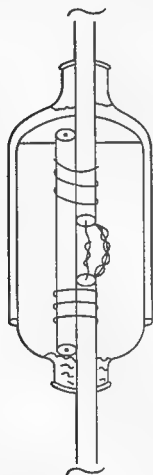


Рис. 4.5. Соединение коаксиальных кабелей в муфте из баллончиков

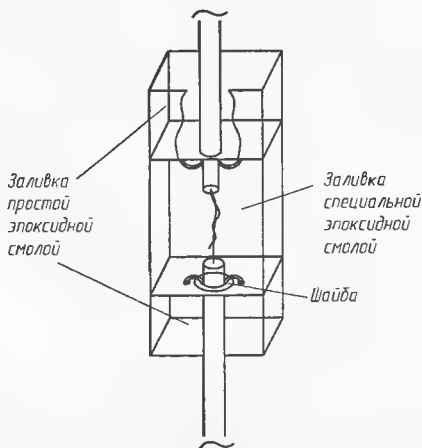


Рис. 4.6. Коробка из фольгированного стеклотекстолита в качестве формы муфты

Для изготовления муфты можно использовать два металлических баллончика от бытовой химии с отрезанным дном, причем один из них должен входить в другой. Один из них надевают на кабель с одной стороны, в него заводят соединение кабелей, горлышко забивают ватой и заливают парафином, смолой или эпоксидной смолой. После застывания компаунда сверху надевают второй баллончик. Его можно посадить на первый баллончик на клей или эпоксидную смолу, а затем произвести дополнительную заливку через горлышко для улучшения качества гидроизоляции. Соединение, выполненное по указанному выше способу, показано на рис. 4.5.

В качестве формы для муфты можно использовать коробку из фольгированного стеклотекстолита, как показано на рис. 4.6. В отверстия коробки с трением вставляют коаксиальный кабель, со стороны коробки надевают толстую шайбу, затем оплетку припаивают к фольге коробки. Центральные жилы соединяют обычным способом. Коробку внутри заливают парафином, смолой. Внешние части заливают эпоксидной смолой — простой или специальной. Такое соединение кабеля достаточно прочно и долговечно, и не сложно для выполнения в радиолюбительских условиях.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАБЕЛЯ С НИЗКИМ ВОЛНОВЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

При изготовлении *широкополосных трансформаторов* необходим кабель с низким волновым сопротивлением. Обычно требуются не очень длинные отрезки такого кабеля. Его можно изготовить самостоятельно. Для этого электротехнический провод толщиной 1...3 мм в пластиковой изоляции помещают в экран от тонкого коаксиального кабеля. Для этого пластиковая изоляция с кабеля снимается, оплетка понемногу сжимается гармошкой, и постепенно перетягивается с кабеля на провод. При определенном навыке можно сделать *коаксиальный кабель с низким волновым сопротивлением* любой необходимой для намотки трансформатора длины.

В некоторых случаях вместо толстого электротехнического провода, служащего внутренней жилой, удобнее использовать тонкий коаксиальный кабель или звуковой шнур. После изготовления кабеля новую внешнюю оплетку необходимо изолировать с помощью изолянты или кембрика подходящего диаметра.

Волновое сопротивление полученного коаксиального кабеля можно определить, используя известные формулы. Наиболее просто это делается следующим образом. С помощью *RLC-метра* измеряют емкость между оплеткой и жилой изготовленного кабеля. Затем кабель замыкают на концах и определяют полученную индуктивность. После этого по формуле определяют волновое сопротивление кабеля

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}},$$

где Z — волновое сопротивление кабеля, Ом;

L — индуктивность, Гн;

C — емкость, пФ.

Этот метод определения волнового сопротивления кабеля имеет погрешность в пределах 20%, но для радиолюбительских целей эта погрешность вполне подходит.

ЯВЛЕНИЕ ГИСТЕРЕЗИСА В КОАКСИАЛЬНОМ КАБЕЛЕ

Это явление в коаксиальных кабелях, используемых для питания передающих УКВ антенн, автором было обнаружено случайно. Оно проявилось в том, что в достаточно долго висящем коаксиальном кабеле постепенно увеличивалось затухание сигнала. КСВ при этом в кабеле не ухудшился, а наоборот, даже улучшился. После энергичной тряски этого коаксиала потери в нем резко упали. Это явление наблюдается

обычно зимой и поздней весной. По нашим предположениям это связано с диффузией влаги через защитную оболочку кабеля, и затем окислением оплетки кабеля и частично внутренней жилы. После тряски кабеля, очевидно, частицы окислов с оплетки отлетают, и потери в кабеле уменьшаются.

Были замерены потери в старых коаксиальных кабелях в диапазоне 144 МГц, пролежавших в сырых местах достаточно долгое время или провисевших на открытом воздухе. Действительно после энергичной тряски и дополнительного простукивания этих кабелей деревянным молотком потери в них уменьшились на 2...6 дБ. Это позволяет рекомендовать время от времени протрясти антенные кабели УКВ антенн, а перед использованием старых коаксиальных кабелей энергично размять их, легонько простучать по всей длине деревянным молотком. После проведения подобной процедуры потери в кабелях в диапазоне коротких волн также заметно уменьшаются.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО СОЕДИНЕНИЯ

В настоящее время практически все коммерческие наружные антенны стационарных служебных и любительских УКВ радиостанций имеют для подключения коаксиального кабеля питания высокочастотный соединитель. При нарушении его герметизации возможно попадание влаги в этот высокочастотный переход и как следствие этого — окисление соединения и увеличение потерь.

Для осуществления контроля рвзъемного соединения большинство коммерческих антенн закорочены по постоянному току. При нормальном состоянии их сопротивление, измеренное на постоянном токе на конце питающего коаксиального кабеля, равно 0,1...0,5 Ом. При окислении контакта переходное сопротивление соединителя увеличивается, и сопротивление по постоянному току такой антенны значительно отличается от указанного значения, причем это сопротивление зависит от полярности напряжения, т. е. высокочастотный переход начинает работать как диод. Исследования таких дефектных высокочастотных соединителей, проведенных автором, показали, что потери в них достигают 2...10 дБ, причем возможно продуцирование высокочастотных гармоник этими соединителями.

Поскольку потери, происходящие в соединителях, имеют активный характер, то часто КСВ антенно-фидерной системы, содержащий дефектный соединитель, незначительно отличается от КСВ нормальной антенно-фидерной системы. Обнаружить дефектный соединитель можно, измерив его сопротивление на постоянном токе, или по общему уменьшению уровня принимаемого или передаваемого антенной сигнала.

Конечно, лучший выход из создавшегося положения — заменить окислившееся соединение. К сожалению, это не всегда возможно. Антенна может находиться в труднодоступном месте, погодные условия могут не благоприятствовать ее ремонту. Как показали эксперименты, значительно снизить потери в дефектном соединителе можно, пропустив через него постоянный ток 50...300 мА. Для этого через высокочастотный дроссель от регулируемого блока питания подают в антенну ток указанного значения. Полярность напряжения, приложенного к антенне, также влияет на величину потерь в соединителе.

Удовлетворительные результаты были получены автором при подаче в антенну напряжения положительной полярности от источника питания для УКВ-трансивера. При проведении контрольных измерений оказалось, что величина потерь в таких дефектных соединителях после пропускания через них постоянного тока снизилась до 1,5...2,5 дБ по сравнению с начальным значением 2...10 дБ. Используя этот прием, можно некоторое время сохранять работоспособность антенно-фидерной системы без ее ремонта.

РАСПОРКИ ИЗ ФОТОКАССЕТ

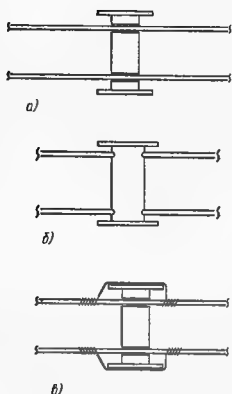


Рис. 4.7. Распорки из фотокассет

Распорки для открытой линии можно сделать из катушек от одноразовых фотокассет. Для этого в катушке прорезают пазы, как показано на рис. 4.7а, в пазы вставляют провод и заплавляют паяльником. Другой вариант изготовления — в катушках сверлят сквозные отверстия, в них продевают провод линии передачи, и отверстия заплавляют паяльником, как показано на рис. 4.7б. Наиболее прочное соединение получается если проводник линии с двух сторон закрепить тонким припаянным к нему луженым медным одножильным проводом, как показано на рис. 4.7в. Такой провод используется в многожильных телефонных кабелях в качестве «земли». Вариант с паяным соединением хотя и сложнее, но предпочтительнее, так как обеспечивает большую механическую прочность линии передачи.

РАЗМЕЩЕНИЕ КОАКСИАЛЬНОГО КАБЕЛЯ НА КРЫШЕ

Большинство радиолюбительских антенн установлены на крыше дома и питаются посредством коаксиального кабеля. Чтобы коаксиальный кабель мог эксплуатироваться 10–15 лет, он должен быть правильно размещен на крыше и соответственно подведен к радиостанции.

Одна из наиболее распространенных ошибок при размещении кабеля на крыше — когда он просто лежит на ее поверхности. Неизбежно между кабелем и крышей обрывается влага. Со временем в оболочке кабеля появляются микроскопические трещины, в которые затягивается влага, что приводит к окислению его оплетки. Окисление внешней оплетки кабеля приводит к полной его непригодности для использования в качестве линии передачи высокочастотной энергии.

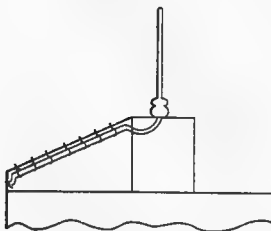


Рис. 4.8. Подвод коаксиального кабеля к антенне

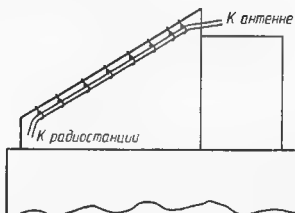


Рис. 4.9. Подвешивание кабеля на стальной проволоке

Чтобы этого не произошло, кабель необходимо размещать на некоторой высоте над крышей. Находясь под действием солнца и ветра, кабель большую часть времени будет сухим, и затягивание влаги через микротрещины будет резко уменьшено. Нагрев кабеля солнечными лучами будет способствовать обратному «выгону» затянутой через микротрещины атмосферной влаги. В этом случае кабель может быть закреплен и подвешен на стальной проволоке (рис. 4.8). К ней кабель можно прикрепить мягкой алюминиевой или медной проволокой диаметром 1...2 мм или полосками жести. Стальная проволока должна быть закреплена между стационарными опорами, а кабель не должен иметь резких изгибов (рис. 4.9). Если кабель подвешен без использования стальной проволоки, то со временем в месте закрепления кабеля его оболочка потрескается, и кабель придет в негодность.

Другой важный момент в размещении кабеля — спуск его с крыши к радиостанции. Наиболее оптимальный вариант в этом случае — использование деревянного переходника, закрепленного на крыше (рис. 4.10), к которому прикреплен спускаемый коаксиальный кабель. Он должен приходить от антенны без резких изломов. Кабель желательно поместить в желобе переходника. Прикрепить его можно с помощью скоб или алюминиевой проволоки. Скобы могут быть в толстой пластиковой изоляции, чтобы меньше повреждать коаксиальный кабель в месте его крепления. Деревянный переходник должен быть размещен так, чтобы на нем не скапливалась влага, и чтобы под действием ветра и солнца он был большую часть времени сухим.

Следующее, что должен учитывать радиолюбитель, кабель не должен «гулять» по стене под действием ветра. Кабель должен быть закреплен в месте ввода и если этого недостаточно, то и на промежуточных участках его пролета.

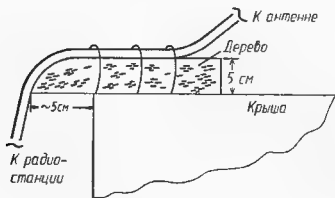


Рис. 4.10. Спуск кабеля с крыши

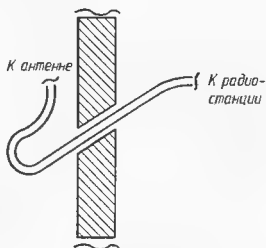


Рис. 4.11. Ввод кабеля сквозь стену дома

Ввод кабеля в помещение также необходимо выполнить соответствующим образом. Можно просверлить отверстие в стене длинным победитовым сверлом под некоторым углом, как показано на рис. 4.11. Ввод кабеля с двух сторон стены необходимо заделывать цементом или алебастром. При размещении ввода кабеля в углу комнаты или внизу под подоконником, когда ввод закрыт мебелью или батареей отопления, кабель не виден и не портит интерьера комнаты.

ГЛАВА 5

КОММУТАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА АНТЕНН

Коммутационным устройствам антенн (КУА) радиолюбители уделяют недостаточно внимания. А напрасно! КУА позволяют эффективнее использовать возможности радиолюбительского оборудования и удешевить эксплуатацию антенно-фидер-

ного хозяйства, использовать один кабель для питания нескольких антенн. Следует заметить, что в профессиональной радиосвязи КУА используются широко.

ВНУТРЕННИЕ КУА

Внутренние коммутационные устройства находятся непосредственно на станции радиолюбителя. С помощью такого устройства можно подключить одну из нескольких антенн или активную нагрузку к трансиверу; при этом иногда неиспользуемые антенны заземляются.

Схема универсального КУА приведена на рис. 5.1. Оно рассчитано на подключение трех трансиверов и двух приемников (или трансиверов) к одной из четырех антенн или к активной нагрузке 50 или 75 Ом. Желательно для визуального контроля параллельно или последовательно нагрузке включить лампочку накаливания, чтобы по яркости ее свечения можно было судить об отдаваемой мощности в нагрузку. Во избежание подключения антенны приемника к выходу передатчика или одновременного включения двух передатчиков на одну антенну положения включения переключателей S2 и S4 не должны совпадать. С помощью переключателя S1 выбирается трансивер для работы. С помощью переключателя S2 выбирается антенна, используемая совместно с этим трансивером.

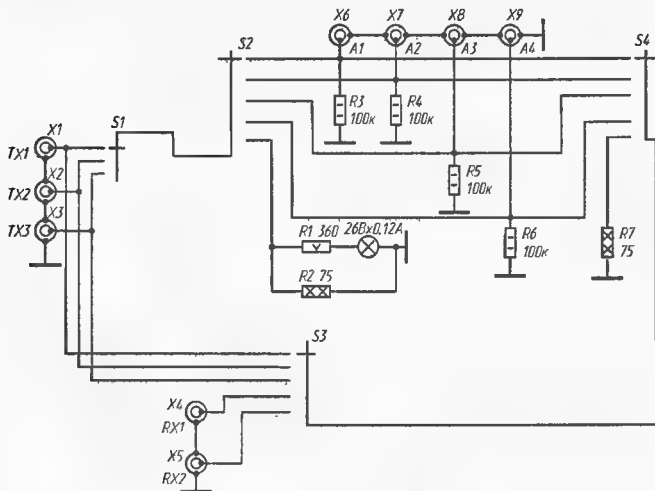


Рис. 5.1 Схема универсального КУА

Если радиолюбитель имеет несколько трансиверов или использует отдельный приемник, то с помощью переключателей S3 и S4 можно осуществить дополнительное подключение аппарата к необходимой антенне. Это дает возможность работы на одном диапазоне и оперативного контроля другого диапазона, а также (если это необходимо) работы на нем. Все антенны постоянно заземлены через резисторы сопротивлением 100 кОм на «землю». Это необходимо для снятия статического элект-

ричества с антенны, причем независимо от того, работает ли она на передачу или отключена. Иногда используют замыкание неиспользуемых антенн на «землю» с помощью дополнительного переключателя. Хотя это и более эффективный способ, чем включение резистора, но используется он редко. Во-первых, не всегда сразу после окончания работы замыкаешь неиспользуемую антенну на «землю» и она «висит», накапливая статический потенциал. Во-вторых, ошибочное включение трансивера на короткозамкнутую нагрузку значительно опаснее, чем работа трансивера без нагрузки. Хотя почти все трансиверы имеют защиту от перегрузки выходного каскада, иногда эта защита не успевает сработать, и особенно — при короткозамкнутом выходе трансивера.

Если с какой-либо антенной применяется согласующее устройство и необходимо использовать трансивер совместно с согласующим устройством и антенной, в КУА желательно добавить встроенный мостовой измеритель сопротивления антенны (см. часть вторую настоящей книги) и переключатель, подключающий трансивер или сразу к согласующему устройству и антенне или через мостовой измеритель сопротивления. Схема такой дополнительной коммутации приведена на рис. 5. 2.

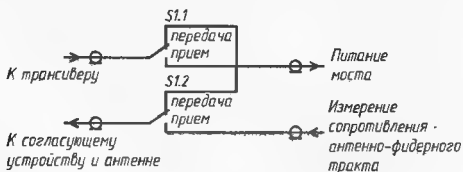


Рис. 5.2. Схема коммутации для дополнительного включения мостового измерителя сопротивления

Конечно, при наличии встроенного в согласующее устройство или в трансивер КСВ-метра в такой коммутации нет необходимости. Иногда в радиолюбительской литературе встречаются схемы устройств, в которых КУА объединены с согласующими устройствами. На наш взгляд нет необходимости усложнять схемотехнику и увеличивать размеры корпуса такого устройства. Все равно экспериментирующий радиолюбитель со временем сделает еще одно согласующее устройство, более эффективное, чем прежнее или применит настроенные антенны, не требующие использования согласующего устройства.

В описанных выше схемах до мощностей 200 Вт хорошо работают обычные галетные переключатели. При использовании мощностей свыше этого уровня необходимо применять специальные мощные галетные переключатели, предназначенные для работы в силовых цепях и выдерживающие высокое приложенное к ним напряжение и большой ток, протекающий через их контакты.

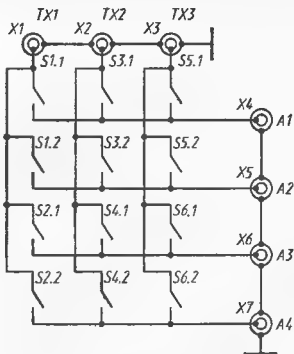


Рис. 5.3. Схема КУА из обычных сетевых выключателей

На рис. 5.3. приведена схема КУА с использованием независимых двухполюсных сетевых выключателей освещения. Такое устройство установлено на одном из передающих центров и позволяет коммутировать мощности до 5 кВт на частотах 2...25 МГц; его КСВ весьма мал

С помощью сетевых выключателей удобно коммутировать не только несимметричные, но и симметричные антенны, питающиеся по двухпроводной линии.

ВНЕШНИЕ КУА

В то время, как внутренние коммутационные устройства широко используются в профессиональной радиосвязи, *внешние КУА* используются там весьма редко. Это связано с обычно большим уровнем коммутируемых мощностей и тем, что переключающие реле не обеспечивают при этом необходимой надежности работы линий связи.

В радиолюбительской практике внешние коммутационные устройства используются чаще. Это связано с экономией дорогостоящего коаксиального кабеля. Не всегда можно проложить 5...10 коаксиальных кабелей на крышу, чтобы питать каждую антенну через свой коаксиальный кабель.

Обычно используются два типа внешних коммутационных устройств. Первый тип — с питанием переключающих антенны реле по отдельному многожильному кабелю, и второй — с питанием через жилу коаксиального кабеля коммутационного устройства и использованием при этом блока распознавания включения необходимого антенного реле. Цена метра телефонного десятипарного кабеля соизмерима с ценой метра коаксиального кабеля, и телефонный кабель можно свободно приобрести в специализированных магазинах.

КУА с внешним питанием очень надежно и его элементы не оказывают влияния на передающий тракт. Схема такого КУА приведена на рис. 5.4.

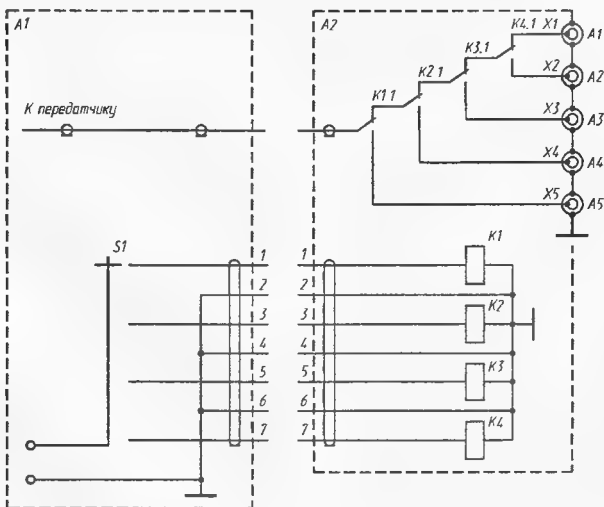


Рис. 5.4. Схема КУА с внешним питанием

Блок переключения $A1$ располагается на радиостанции, а устройство коммутации антенн $A2$ — на крыше. Если питание на реле не подается, то включена антенна 5. При подаче питания на какое-либо реле включается соответствующая ему антенна. Коммутационное устройство может быть выполнено в металлическом или диэлектрическом корпусе. При использовании герметизированных реле, например типа РМУГ, коробка может быть выполнена негерметичной и даже не защищенной от попадания на нее оседков. Если используются негерметизированные реле, то одни из лучших реле для таких устройств — типа РСМ, так как они допускают чистку контактов. Можно использовать и другие мощные реле. При использовании негерметичных реле устройство $A2$ желательно загерметизировать, а еще лучше защитить его от прямого воздействия осадков, например разместив на чердаке. К антенному входу $X1$ подключается антенна самого низкочастотного диапазона, соответственно, к входу $X5$ — антенна наиболее высокочастотного диапазона.

При использовании коаксиального кабеля передатчика для выбора коммутируемой антенны обычно используют варианты базовой схемы, приведенной на рис. 5.5. Если на схему коммутации не подается напряжение, то к трансиверу подключена антенна $A1$. При подаче отрицательного напряжения реле $K1$ срабатывает и подключает антенну $A3$. При подаче положительного напряжения срабатывает реле $K2$ и подключает антенну $A2$. При подаче переменного напряжения срабатывают сразу оба реле и подключают антенну $A4$.

Используемые в этой схеме реле должны иметь одно напряжение срабатывания, а жила кабеля должна выдерживать антенный ток и ток управления реле. Конструкция дросселей $L1$ и $L2$ не критична. Это могут быть стандартные изделия с индуктивностью более 50 мкГн, рассчитанные на ток не менее тока срабатывания реле.

Иногда используют разделение включения секций реле по величине напряжения. Этот вариант устройства позволяет коммутировать до восьми антенн. В зависимости от величины приложенного напряжения срабатывает дополнительное реле и производит переключение секций реле, аналогичных изображенным на рис. 5.5. Из-за громоздкости схема такого устройства не приводится, но, пользуясь материалами, приведенными выше, ее вполне возможно составить самому.

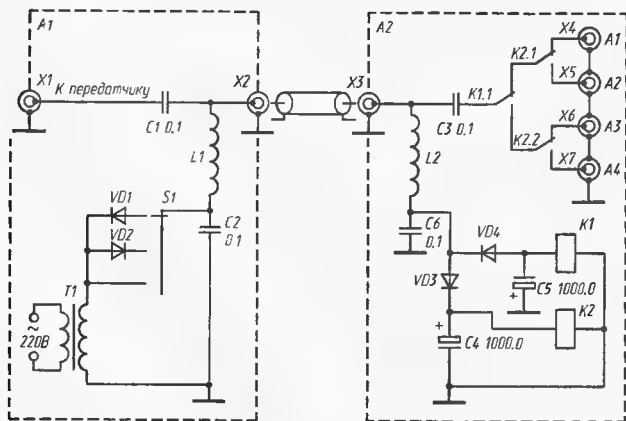


Рис. 5.5. Схема КУА с питанием по коаксиальному кабелю

ГЛАВА 6

ПОЛЕЗНЫЕ МЕЛОЧИ

Ниже приводятся различные полезные мелочи и советы из области конструирования и настройки антенн, многие из которых помогут радиолюбителям в их практической деятельности при установке антенн как в стационарных, так и в экспедиционных условиях.

Приведенные здесь советы по наладке и эксплуатации антенн были проверены автором на практике или заимствованы у радиолюбителей и специалистов на радиолюбительских станциях и передающих центрах.

МАТЕРИАЛ ДЛЯ ПОЛОТНА АНТЕННЫ

Перед радиолюбителем всегда стояла задача, какой материал использовать для полотна проволочных антенн. Наилучшим материалом является провод в эмалевой изоляции из холоднокатанной меди. Эта медь при сгибании слегка хрустит. Провод из такой меди достаточно прочен, хорошо паяется. Используя провод диаметром 1...2 мм, можно строить антенны для диапазонов 6...160 м.

Отожженная мягкая медь непрочна, из нее можно выполнять антенны для диапазонов 6...40 м.

Биметаллический провод — выполнен из стального проводника в медном или алюминиевом «чулке». Внутренний проводник обеспечивает повышенную прочность, внешний — хорошую проводимость высокочастотным током. Обычно биметаллический провод имеет толщину 3...6 мм. Это означает, что для антенн, выполненных из него, необходимо использовать прочные изоляторы. Из биметаллического провода можно выполнять антенны для диапазонов 6...160 м, причем эти антенны при правильном их изготовлении и использовании прочных изоляторов могут проходить нед электрическими сетями.

Использование канатика для выполнения антенн в городских условиях нецелесообразно, так как кислотные дожди могут служить причиной быстрого выхода из строя тонких жил.

Для антенн диапазонов 6...40 м можно использовать гибкий медный провод диаметром 1...2 мм в пластиковой изоляции. Но как показывает опыт, в условиях атмосферы изоляция выходит из строя в течение 3...5 лет, затем под нее проникает влага, что ведет к коррозии провода. Более устойчив к воздействию атмосферы кабель, предназначенный для прокладки полевых линий связи (так называемый «полевик»). «Полевик» обладает достаточной прочностью, из него можно выполнять антенны на диапазоны 6...160 м. Изоляция на «полевике» сохраняется под действием атмосферы не менее 5 лет.

В исключительных случаях для антенн можно использовать алюминиевый провод в пластиковой изоляции. Такой провод не обладает достаточной прочностью и не паяется, но из-за своей дешевизны позволяет проводить широкие эксперименты с антеннами. На его основе можно выполнять антенны на диапазоны 6...40 м.

Если у радиолюбителя имеется коаксиальный кабель, то антенны можно выполнить на его основе, используя оплетку в качестве полотна антенны. Такие антенны можно выполнить на диапазоны 6...160 м. Внешняя изоляция кабеля может выдерживать воздействие атмосферы в течение не менее 10 лет. Оплетка кабеля хорошо паяется, вследствие относительно большой толщины коаксиального кабеля антенна получается широкополосной и можно менее строго выдерживать ее размеры.

Стальной провод использовать для полотна антенны недопустимо, так как сталь сильно подвергается коррозии на воздухе. На высоких частотах из-за скин-эффекта работает только внешняя поверхность проводника, а поскольку сопротивление ржав-

чины высокочастотным током высоко, то в ней происходит поглощение ВЧ-энергии. Вследствие этого полотно антенны представляет собой активную нагрузку передатчика, и КСВ антенны со временем только ухудшается, причем не только в резонансном диапазоне работы антенны, но и на других любительских диапазонах. Даже неоxygenный стальной проводник вследствие феррорезонансных свойств материала имеет повышенное высокочастотное сопротивление (относительно медного проводника) сопротивление, что ведет к ухудшению работы антенны. Но стальной провод вполне можно использовать для оттяжек антенны.

КОНТРОЛЬ РАБОТЫ АНТЕННЫ НА ПЕРЕДАЧУ

Во время работы антенно-фидерной системы может быть поврежден коаксиальный кабель или полотно антенны, что может привести к значительному ухудшению ее параметров. Если многие неисправности можно выявить практически сразу на радиостанции путем измерения КСВ антенны, то некоторые другие определить трудно. Это могут быть неисправности антенно-фидерной системы, связанные с резким увеличением затухания кабеля. При этом, даже в случае неисправной антенны, имеющей высокий КСВ, измеренный КСВ на входе кабеля будет удовлетворительным. При ухудшении проводимости внешней поверхности полотна антенны, связанной, например, с ее окислением, КСВ антенны «улучшится», а эффективность работы антенны ухудшится. В случае непаяных контактов между кабелем и антенной переходное сопротивление контактов вследствие разных причин может возрасти до 10...100 Ом. В этом случае переходные сопротивления будут выполнять роль активной нагрузки, и эффективность антенны резко ухудшится. Тот же эффект будет при увеличении переходного сопротивления трубок, составляющих полотно антенны.

Следует отметить, что эти неисправности могут возникнуть не только в самодельных антеннах. Действительно, многие «фирменные» антенны рассчитаны на работу в облегченных атмосферных условиях и не выдерживают эксплуатации в жестких условиях нашей страны. Смог, кислотные дожди часто «съедают» поверхность алюминиевых трубок антенн. Под действием морозов и дождей ухудшаются непаяные контактные соединения, резко вырастает их переходное сопротивление. Следует признать, что не все «фирменные» антенны имеют удачно выполненное гнездо для присоединения антенного кабеля. А если еще для питания антенны используется кабель с немелко заделанным антенным штекером, то это часто ведет к «засасыванию» кабелем влаги и он приходит в негодность.

Несмотря на значительный перечень возможных неисправностей в антенной системе, аккуратное выполнение антенн и фидерных систем, постоянный их контроль позволяют своевременно выявлять их и устранять.

Основная форма контроля исправности антенны — постоянное тестирование ее КСВ. Другая форма контроля, редко применяется радиолюбителями, но в то же время может эффективно тестировать не-

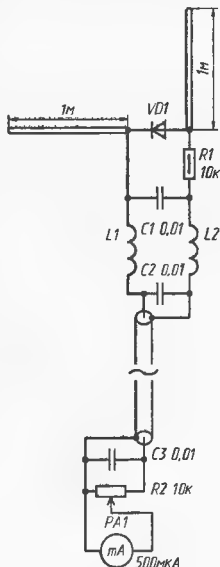


Рис. 6.1. Индикатор напряженности поля

исправности в антенно-фидерном тракте. Это постоянный контроль напряженности поля с помощью индикатора напряженности поля, собранного, например по схеме на рис. 6.1 и установленного на подоконнике, на балконе или на крыше около антенны.

Индикатор напряженности поля представляет собой широкополосный детектор высокой частоты. «Усы» антенны индикатора должны быть длиной 1...2 м в зависимости от мощности передатчика и места расположения антенны. Напряжение от высокочастотного детектора по тонкому коаксиальному кабелю, звуковому шнуру, проводу типа «лапша» подается в место установки радиостанции. Индикатор выполнен в виде, показанном на рис. 6.2. С помощью переменного резистора калибруют показания прибора при работе РА на известной мощности и на исправную антенну. Впоследствии (при уменьшении показаний прибора более чем на 30%) при той же

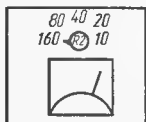


Рис. 6.2. Выполнение индикатора напряженности поля

подводимой мощности к антенно-фидерному тракту можно судить о каких-либо деструктивных изменениях в нем и принять меры для их устранения. Дроссели L_1 и L_2 могут иметь индуктивность около 1 мГн. Можно использовать самодельные дроссели — 100...200 витков провода, намотанного внавал на ферритовом сердечнике диаметром 8 мм и длиной 20 мм. Такой сердечник можно получить, разрезав ферритовую магнитную антенну от приемника СВ-ДВ.

Данный способ контроля антенны является вспомогательным и должен существовать параллельно с контролем КСВ антенно-фидерного тракта.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СОЕДИНИТЕЛИ В АНТЕННОЙ ТЕХНИКЕ

При неисправностях антенны, расположенной на крыше многоэтажного дома, для восстановления ее работоспособности часто необходима пайка. Радиолюбители обычно подают питание для паяльника 220 В по антенному кабелю, но иногда это неприемлемо. Например, при нарушении внешней изоляции коаксиального кабеля, при сырой погоде и в тех случаях, когда необходимо быстро восстановить работоспособность антенны.

При обрыве полотна проволоочной антенны или вставке отрезка кабеля вместо поврежденного участка автор использовал вместо пайки электрические соединители.

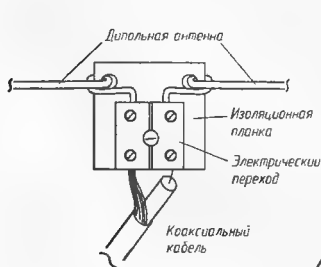


Рис. 6.3. Электрический переход в дипольной антенне

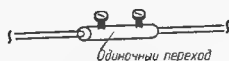


Рис. 6.4. Электрический переход при восстановлении проволоочной антенны

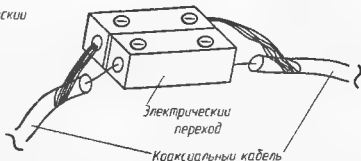


Рис. 6.5. Двойной электрический переход при ремонте коаксиального кабеля

На рис. 6.3 показано использование электрического перехода в дипольной антенне из *алюминиевой проволоки*. Переход обеспечивает надежное соединение алюминия с медной оплеткой и медной жилой кабеля и обеспечивает минимальное переходное сопротивление антенна-кабель. При обрыве полотна антенны можно быстро восстановить ее работоспособность с помощью одиночного перехода (рис. 6.4). Он обеспечит надежное механическое и электрическое соединение. При этом длину порванной антенны можно восстановить и неоднородной с ней проволокой; например, медную проволочную антенну восстановить алюминиевой проволокой.

При вставке отрезка коаксиального кабеля необходимо использовать *двойной электрический переход* (рис. 6.5). Во всех случаях желательно обеспечить влагоизоляцию соединений хотя бы с помощью изолянты. В настоящее время в продаже имеются различные переходные соединители (одиночные и двойные любых размеров). Они покрыты нержавеющей сталью и не поддаются коррозии.

НАСТРОЙКА НИЗКОЧАСТОТНЫХ АНТЕНН В ЭКСПЕДИЦИЯХ

В радиоловительских экспедициях при работе на низкочастотных диапазонах 160, 80, 40 м часто используются дипольные *антенны типа IV*, расположенные на небольшой высоте относительно земли. Вследствие этого происходит частая расстройка антенн и выход их резонансной частоты за пределы любительских диапазонов. Для предупреждения этого явления можно предусмотреть оперативную подстройку антенны.

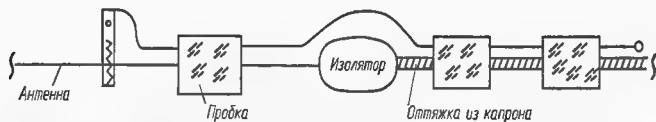


Рис. 6.6. Оперативная подстройка антенны

Для этого концы антенны выполняют согласно рис. 6.6. Длину плеч антенны выбирают короче необходимой. С помощью дополнительного отрезка провода, который «крокодилами» прикреплен к разным участкам антенны, осуществляется подстройка антенны в резонанс по месту ее установки. Пробки, одетые на антенну и оттяжку, сохраняют длину регулировочных отрезков. Настраивают такую антенну обычным способом, используя отражательный или мостовой КСВ-метр.

НАСТРОЙКА ЭЛЕМЕНТОВ АНТЕНН

При настройке многоэлементных вибраторных и штыревых антенн необходимо изменять длину их элементов. Существует много способов это осуществить, но наиболее простой заключается в следующем. При использовании медных трубок для выполнения вибраторов антенны целесообразно припаять к концу вибратора медный провод диаметром 1...2 мм и длиной около 1 м, как показано на рис. 6.7. Для настройки антенны припаянный проводник укорачивают или сгибают. При сгибании проводника антенна будет иметь большую реактивность, но и несколько большую полосу пропускания.

Если пайку к трубке антенны осуществить затруднительно, можно настроить антенну с помощью провода в пластиковой изоляции, туго входящего в трубку (рис. 6.8). Провод может быть алюминиевый от силового электрического кабеля или

представлять собой отрезок коаксиального кабеля, лишь бы он туго входил внутрь трубки антенны. Для настройки антенны на диапазоны 6...15 м вполне достаточно провода длиной 1 м при условии, что длина вибратора антенны короче требуемой на 10...20 см. При такой настройке антенна имеет острый резонанс и высокую добротность.

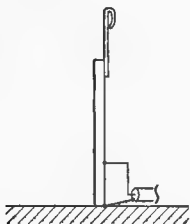


Рис. 6.7. Настройка антенны дополнительным проводником

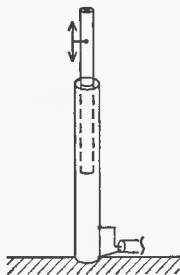


Рис. 6.8. Емкостная настройка антенны

После настройки антенны желательно заделать стык трубки и настроечного стержня. Это можно осуществить с помощью прочной краски, глины или густого раствора канифоли в спирте.

ГРОЗОЗАЩИТА АНТЕНН

Практически все высокие антенны подвержены попаданию в них молнии. Многие антенны накапливают статический заряд, что может привести к выходу из строя РА. Наиболее простой выход — шунтирование антенны на землю через резистор сопротивлением 10...100 кОм и мощностью более 2 Вт. Но иногда и этот резистор выходит из строя и часто незаметно для радиолюбителя, что в дальнейшем может привести к поражению оператора электрическим током. Наиболее надежный способ защиты в случае однодиапазонной антенны — использование четвертьволнового закрытого резонатора (рис. 6.9), который на своем конце заземлен на радиотехническую «землю». Резонатор имеет высокое входное сопротивление на рабочей частоте и не оказывает влияния на работу антенны. Длина резонатора составляет $\lambda/4$ с учетом коэффициента укорочения в кабеле.

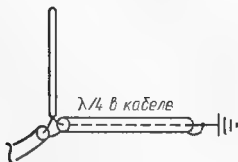


Рис. 6.9. Грозазащита антенны с помощью четвертьволнового резонатора

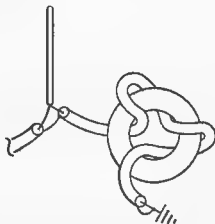


Рис. 6.10. Грозазащита антенны с помощью ВЧ дросселя

При защите многодиапазонных антенн можно использовать ВЧ-дроссель, показанный на рис. 6.10. Он представляет собой тонкий коаксиальный кабель длиной 2...5 м, намотанный на ферритовое кольцо. Размеры кольца не критичны, лишь бы на нем разместился весь кабель. Можно использовать кольцо от отклоняющей системы телевизора. Данное устройство хорошо работает в диапазоне частот 1,8...50 МГц.

КОНТРОЛЬ ИСПРАВНОСТИ АНТЕННЫ

При конструировании антенны желательно предусмотреть возможность оперативного контроля исправности антенны. Наиболее простой способ контроля заключается в том, что на конце кабеля, питающего антенну, подключают резистор сопротивлением 10...50 кОм.

Если антенна дипольная, и измеренное сопротивление на питающем кабеле равно сопротивлению нагрузочного резистора, а КСВ антенны при этом высокий, то можно говорить об обрыве плеч диполя. При неравенстве сопротивлений на входе кабеля контрольному сопротивлению можно заключить о неисправности кабеля.

При использовании петлевых антенн можно включать два резистора: один параллельно кабелю питания, другой (закороченный емкостью) последовательно с полотном антенны. В этом случае, если сопротивление на входе кабеля равно сопротивлению последовательно включенного резистора, то можно сделать предположение об исправности кабеля и антенны. Если сопротивление на входе кабеля равно лишь сопротивлению резистора, включенного параллельно антенне, то можно судить об обрыве антенны. Если сопротивление на входе кабеля не равно сопротивлению параллельно включенного резистора или сопротивлению резистора, включенного на входе кабеля, то можно сделать вывод о неисправности кабеля. Для *контроля исправности антенны* можно использовать резисторы сопротивлением 50...100 кОм.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ КОНДЕНСАТОР

В режекторных контурах антенны типа W3DZZ необходимо использовать *высоковольтные конденсаторы*, которые являются довольно дефицитными. Вместо них можно использовать отрезки коаксиального кабеля. Стандартный коаксиальный кабель имеет емкость 60...100 пФ на 1 м погонной длины. Емкость конкретного типа кабеля указывается в справочниках; ее можно измерить практически. Необходимый отрезок коаксиального кабеля разрезают на 3...6 частей, затем в них соединяют параллельно оплетки и центральные жилы. Использовать целый отрезок коаксиального кабеля нерационально, так как он имеет повышенную индуктивную составляющую. Настройку емкости производят укорочением одного отрезка коаксиального кабеля, а если используется целый отрезок, то его укорочением.

В качестве конденсатора можно использовать и двухсторонний фольгированный материал — стеклотекстолит толщиной 1...3 мм. В этом случае конденсатор получается более громоздким, чем на основе коаксиального кабеля. Настраивать на необходимую емкость его можно путем разрезания фольги на одной из двух обкладок. Затем необходимо принять меры по влагеизоляции конденсатора как на основе коаксиального кабеля, так и на основе стеклотекстолита.

ВЫПОЛНЕНИЕ УДЛИНЯЮЩИХ КАТУШЕК

Для настройки в резонанс укороченных антенн используются *удлиняющие катушки индуктивности* от нескольких микрогенри на диапазоне 50 МГц до нескольких миллигенри на диапазоне 136 кГц.

В зависимости от диапазона работы антенны и предполагаемой мощности выбирают подходящую конструкцию удлиняющих катушек. При изготовлении катушек следует пользоваться приведенными ниже рекомендациями.

Провод для катушек желательно использовать посеребрённый. Если такой возможности нет, то вполне подойдет и медный. В зависимости от качества серебрения и частоты работы катушки проводимость посеребрённого провода лучше проводимости медного всего лишь на 5...20%. Для чисто серебряного провода проводимость по сравнению с медным на высоких частотах может быть лучше на 30%. Это не так уж и много, чтобы использовать дорогостоящий посеребрённый провод вместо дешевого медного.

Как известно, на высоких частотах проявляется *скин-эффект*, выражающийся в том, что основная плотность тока протекает в небольшом поверхностном слое проводника. Исходя из этого, если используется медный провод, перед намоткой катушки его желательно отполировать, а затем готовую катушку покрыть лаком для защиты поверхности провода от коррозии. Лучшие провода для изготовления контуров — типа ПЭЛ, ПЭВ, которые уже находятся в лаковой изоляции, а поверхность провода отполирована и обладает хорошей проводимостью.

Если Вы остановили свой выбор на медном проводнике, то лучше использовать мягкую медь с отполированной поверхностью. *Мягкий отожженный медный провод* обладает лучшей проводимостью, чем *холоднокатанный*. Холоднокатанный медный провод при сгибании слегка хрустит. Для улучшения проводимости этот провод лучше отжечь.

Диаметр провода, используемого в удлиняющих катушках, должен быть как можно больше, но до разумных пределов. На диапазоне 136 кГц нерационально использовать провод тоньше 0,5 мм даже при подводимой к антенне мощности 10 Вт. Но при мощностях до 100 Вт вполне подойдут провод диаметром 1...2 мм. На диапазонах 80...160 м можно использовать провод диаметром 1 мм при мощностях до 200 Вт, при мощностях до 50 Вт вполне подойдет провод диаметром до 0,5 мм. На диапазонах 15...30 м при мощностях до 10 Вт можно использовать провод диаметром до 0,5 мм, до 100 Вт — провод диаметром до 1 мм, при мощностях более 100 Вт необходимо использовать провод диаметром не менее 2 мм. В удлиняющих катушках на диапазоны 6...12 м при мощностях до 10 Вт можно использовать провод диаметром не менее 0,8 мм, до 50 Вт — не менее 1 мм, от 50 до 100 Вт необходимо использовать провод диаметром не менее 2 мм. При больших мощностях желательно использовать провод диаметром более 3 мм или даже медную трубку.

При изготовлении удлиняющих катушек необходимо учитывать эффект емкостного тока между витками катушек. При близком расположении витков катушки из-за межвитковой емкости емкостный ток через катушку может достигать значительной величины, особенно при больших значениях индуктивности катушек. Это может происходить на диапазонах 136 кГц, 1,8...3,5 МГц. Для уменьшения межвитковой емкости катушки проводники следует располагать на расстоянии не менее диаметра провода. Это же относится и к катушкам высокочастотных диапазонов.

Для достижения наибольшей добротности катушки соотношение между длиной намотки катушки и ее диаметром должно быть в пределах 1...2.

Каркас, на котором выполнена катушка, тоже влияет на ее добротность. Она максимальна у катушек без каркаса. Если *каркас для катушек* все же необходим, то наилучший результат можно получить с катушками на керамике. В качестве каркаса для катушек можно использовать и стеклянные пузырьки. Поскольку удлиняющие катушки часто работают на открытом воздухе, то даже будучи защищенными от воздействия атмосферы, каркасы могут постепенно впитывать влагу. В этом случае желательно проварить каркасы в парафине. Неглазурованная керамика и некоторые пластмассы все же впитывают влагу.

В настоящее время в быту широко распространены печи СВЧ. Можно прогреть каркас катушки в печи в течение 5...10 мин. Если каркас будет теплым или горячим, то это укажет на наличие *диэлектрических потерь* в материале. Такой каркас лучше не использовать для изготовления удлиняющих катушек. Как показывает опыт, часто даже *керамические каркасы* имеют большие потери на СВЧ, а при «прогреве» их из-за потерь в диэлектрике нагреваются. Стекло от пузырьков имеет обычно низкие диэлектрические потери, но иногда и там попадает брак. Пластики, используемые для изготовления водопроводных труб, а также пластиковые упаковки из-под зубной пасты, моющих средств часто имеют вполне подходящие параметры для использования в каркасах удлиняющих катушек.

И, конечно, следует помнить о хорошей влагоизоляции катушек, используемых на открытом воздухе.

ПАЙКА БЕЗ ПАЯЛЬНИКА

При ремонте антенны на крыше, в экспедиции иногда требуется обеспечить паяное соединение, но при этом не всегда можно использовать паяльник. В этом случае поступают следующим образом.

Два соединяемых вместе проводника зачищают ножом, затем скручивают вместе и посыпают канифольной крошкой или покрывают растворенной в спирте канифолью. Перед этим олово расплющивают в тонкие пластинки, по форме напоминающие фольгу. Этой оловянной фольгой обволакивают соединение, которое необходимо запаять, нагревают соединение с помощью газовой зажигалки. Олово расплавляется и равномерно покрывает соединение. Использовать бензиновую зажигалку нежелательно, так как из-за копоти паяное соединение получается непрочным. В крайнем случае можно использовать несколько сложенных вместе спичек для нагрева этого соединения.

«ПАЯЛЬНИК» ДЛЯ ЭКСТРЕННЫХ УСЛОВИЙ

При ремонте или настройке антенн на крыше многоэтажного дома или при установке и ремонте антенн в экспедициях часто возникает необходимость в пайке. Использовать при этом обычный электропаяльник или паяльник, нагреваемый на костре, затруднительно и небезопасно.

Простой «паяльник», который выручит в таких условиях, можно сделать из луженой консервной банки (идеально подходит банка из-под сгущенного молока) и двух-трех кусков сухого горючего. Для этого банку деформируют так, чтобы две ее противоположные поверхности были плоскими, в одной из плоских поверхностей формируют ванночку (рис. 6.11). В банку кладут куски сухого горючего и поджигают. Приблизительно через 5 мин стенка банки нагревается до температуры плавления олова. С помощью легкоплавкого трубчатого олово-канифольного припоя заполняют оловом ванночку и опускают спаиваемые части в ванночку с оловом. Под действием температуры спаиваемые проводники хорошо прогреваются и возможна качественная пайка.

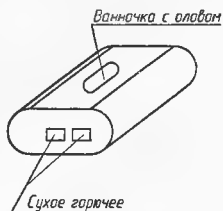


Рис. 6.11. «Паяльник» для экстренных условий

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛЯННЫХ КАРКАСОВ ДЛЯ КОНТУРОВ

Небольшие стеклянные пузырьки можно с успехом использовать для изготовления каркасов катушек индуктивности в гетеродинах трансиверов и приемников, кату-

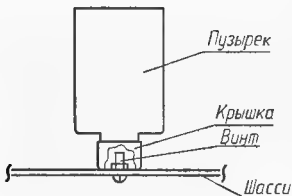


Рис. 6.12. Пузырек-каркас катушки индуктивности

шек с высокой добротностью в каскадах усилителей мощности, удлиняющих антенных катушек. Пузырьки удобно крепить к шасси конструкции за имеющуюся крышку. Для этого в крышке от пузырька просверливают отверстие, крышку прикрепляют к шасси винтом и готовую катушку ввинчивают в эту крышку (рис. 6.12).

Стекло, используемое в пузырьках, имеет гораздо лучшие характеристики, чем многие пластмассы, что позволяет добиваться стабильных параметров контура без особого труда. Витки на пузырьке можно закрепить любым способом, например нитками и клеем «Момент».

РЕЖЕКТОРНЫЙ КОНТУР ИЗ КОАКСИАЛЬНОГО КАБЕЛЯ

При использовании многодиапазонных антенн часто бывает, что на отдельном любительском диапазоне антенна имеет КСВ больше 2,5. При таком КСВ почти 20% мощности отражается на вход трансивера. В зависимости от причин возникновения КСВ, часть отраженного тока протекает внутри антенного кабеля, а другая его часть — по внешней оболочке кабеля. Особенно это проявляется при возникновении КСВ из-за рассиметрирования антенны (рис. 6.13).

Ток, протекающий по внешней оболочке кабеля, протекает и по корпусу трансивера, что создает «горячее» соприкосновение с аппаратом. Возможно возбуждение трансивера при работе на передачу на отдельных диапазонах. Далее, попадая в сеть питания, отраженный антенной высокочастотный ток будет служить причиной помех телевидению.

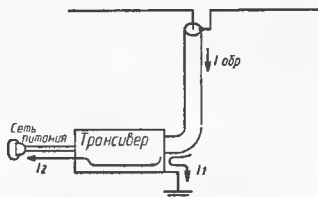


Рис. 6.13. Пути токов рассиметрирования

Автору удалось устранить указанное выше явление установкой *режекторного контура*, выполненного из коаксиального кабеля (рис. 6.14).

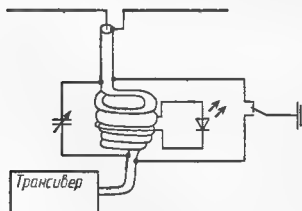


Рис. 6.14. Режекторный контур, выполненный из коаксиального кабеля

Контур настраивался на частоту режекции, равной частоте диапазона, где возникает повышенный КСВ, с помощью переменного конденсатора по максимальному свечению светодиода. Последний был связан одним витком с режекторным контуром. Если отраженной мощности недостаточно для свечения светодиода, контур можно настроить с помощью индикатора напряженности высокочастотного поля. Данные контуров, выполненных на основе коаксиального кабеля, приведены в табл. 6.1. Режекторные контуры наматывались на каркасах, в качестве которых использовались пустые пластиковые бутылки из-под напитков и моющих средств, витки закреплялись с помощью изолянт.

Катушку можно выполнить на каркасе, диаметр которого отличается на 20% в меньшую или большую сторону от размера, указанного в табл. 6.1. Контур находился в картонной коробке из-под обуви недалеко от ввода коаксиального кабеля в помещение.

В некоторых случаях заметное уменьшение помех телевидению наблюдалось при присоединении «земли» непосредственно к одной из сторон контура (рис. 6.14). В качестве «земли» может служить батарея отопления или провод длиной 5...20 м, который для большей эффективности может быть подключен к устройству типа «искусственная земля».

Таблица 6.1

ДАННЫЕ КОНТУРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ОСНОВЕ КОАКСИАЛЬНОГО КАБЕЛЯ

Диапазон, МГц	Индуктивность катушки, мкГн	Диаметр каркаса, мм	Длина намотки, мм	Число витков
3,6	30	100	100	30
7	10	50	100	18
10	5	50	50	12
14	2,4	40	50	10
18	1,5	50	50	7
21	1,2	50	50	6
24	0,9	50	40	5
27...30	0,6	30	35	5

Если «горячее» соприкосновение и возбуждение трансивера присутствуют на нескольких диапазонах, необходимо последовательно один за другим включить несколько режекторных контуров.

ПАЗИТНЫЕ РЕЗОНАНСЫ ФИЛЬТРОВ

При экспериментах с различными типами фильтров помех телевидению на реальной передающей аппаратуре обнаружилось, что с некоторыми их конструкциями на высокочастотных диапазонах 21...30 МГц выходной каскад трансивера потреблял слишком большой ток, и защита отключала его. При исследовании работы фильтра при его подключении к трансиверу выяснилось, что первая катушка фильтра совместно с П-контуром трансивера образует последовательный контур, настроенный на частоту, близкую к рабочей частоте трансивера. Такое может случиться, если совместно с выходным каскадом используется не П-контур, а широкополосный трансформаторный выход.

В этом случае последовательно настроенная в резонанс цепь шунтирует выход трансивера, и выходной каскад работает в режиме короткого замыкания, который наиболее опасен для его работы. Устранить этот режим можно изменением числа витков выходной обмотки трансформатора РА. Обычно увеличение или уменьшение числа витков на 1...2 сдвигает совместный резонанс обмотки трансформатора и фильтра в сторону от любительского диапазона. Паразитный резонанс выходного трансформатора с П-контуром часто можно наблюдать и при экспериментах с самодельными РА. В этом случае самодельные трансформаторы и самостоятельно рассчитанные П-контуры часто образуют непредсказуемые резонансы, лежащие как на диапазонах работы РА, так и на диапазонах, где может произойти самовозбуждение выходного каскада из-за наличия паразитных связей. В этом случае изменяют число витков выходного трансформатора или индуктивность П-контура.

УСТРАНЕНИЕ ПАРАЗИТНЫХ РЕЗОНАНСОВ МАЧТ И ТРАВЕРС

При использовании для антенн металлических мачт и траверс часто бывает, что вследствие своих физических размеров мачта или траверса имеют резонанс в любительском диапазоне или на частотах, близких к частотам настройки пассивных элементов антенны. На практике это выражается в том, что из-за резонансов траверсы искажается диаграмма направленности многоэлементной антенны, а из-за резонансов мачты антенны, расположенные на них, работают неэффективно. Происходит или поглощение ВЧ энергии мачтой, или искажение диаграммы направленности антенны из-за переотражения мачтой ВЧ энергии. Резонанс мачты может испортить любую антенну, расположенную на ней — как штыревую вертикальную, так и дипольную, рамочную. Даже если мачта расположена вблизи антенны, она может влиять на ее работу.

Наиболее простой способ устранения резонансных явлений — покрасить мачту краской, смешанной с порошком графита. Графит используется в пантографах трамваев и троллейбусов и на конечных остановках иногда можно найти отработавшие свой срок графитовые ползунки. Мачта или траверса, покрытая такой краской, имеет низкую добротность и не резонирует на частотах КВ диапазонов.

Другой способ, проверенный автором, заключается в том, что на мачту надевается несколько ферритовых сердечников от отклоняющей системы телевизора или от строчного трансформатора. Поскольку эти ферриты состоят из двух половинок, то их можно легко установить в любом месте мачты. Ферриты сдвигают резонансную частоту мачты вниз и вносят дополнительные потери на частотах выше 14 МГц, в пределах которых наиболее вероятен резонанс мачт и траверс. Измерить резонансную частоту мачты или траверсы можно способом, приведенным в гл. 15 настоящей книги.

Конечно, лучший способ устранить паразитные резонансы — использовать неметаллические мачты и траверсы.

ПОДБОР ДИОДОВ ПО ПАРАМЕТРАМ

При создании различных радиолюбительских устройств, содержащих два измерительных блока с идентичными параметрами (например, КСВ-метры, простые характериографы) необходимо для большей точности измерений использовать детекторные диоды с одинаковыми характеристиками. При этом ввиду конструктивных особенностей таких приборов полностью исключается использование в них сборок типа КДС. Быстро отобрать одинаковые диоды поможет прибор, собранный по схеме на рис. 6.15. Он представляет собой простой мостовой измеритель. Диоды, отобранные с помощью тестера по наиболее близким значениям «прямого» сопротивления, включают в схему и при измерении тока рассогласования через диоды с помощью резистора $R1$ наблюдают степень идентичности характеристик диодов.

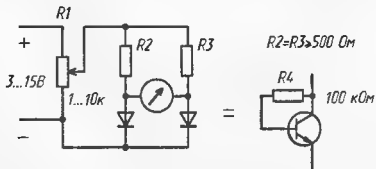


Рис. 6.15. Схема прибора для подбора идентичных диодов

Необходимым условием качественного измерения является равенство $R2 = R3$. Резисторы можно подобрать, используя цифровой омметр, или использовать оди-

наковые резисторы с допуском не более 1%. В крайнем случае, вместо них можно использовать два высокоомных реле из одной партии. Как показывает опыт, разброс сопротивлений их обмоток не превышает 1...2%.

Этим прибором можно воспользоваться и для подбора идентичных по параметрам транзисторов, включив их в плечи моста, как показано на рис. 6.15. Базовые резисторы должны иметь разброс сопротивлений не более 1%.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ПЕРЕВОЗБУЖДЕНИЯ ВНЕШНЕГО РА

При конструировании радиолюбительской передающей аппаратуры — трансивера и РА необходимо предусмотреть автоматическую коммутацию системы трансивер—РА. Конечно, желательно передавать сигналы управления РА и напряжение возбуждения по одному коаксиальному кабелю. В этом случае для управления системой трансивер—РА достаточно лишь одного коаксиального кабеля между устройствами. Идея такого управления состоит в следующем. Можно через коаксиальный кабель передавать как ВЧ колебания, так и НЧ составляющую управления, разделяя их с помощью соответствующих фильтров на входе РА и на выходе трансивера. Можно использовать и ВЧ сигнал возбуждения РА для его управления.

Рассмотрим первый случай, когда для управления РА используется внешний НЧ сигнал (рис. 6.16). Здесь реле $K1$, расположенное внутри РА, при замыкании контакта $S1$ в режиме «передача», расположенного внутри трансивера, включается и коммутирует соответствующим образом РА — подает высокое напряжение на аноды ламп, переключает антенну. Дроссели $L1$ должны представлять собой большое сопротивление на ВЧ. В зависимости от диапазона работы трансивера можно использовать стандартные дроссели, рассчитанные на соответствующий ток реле.

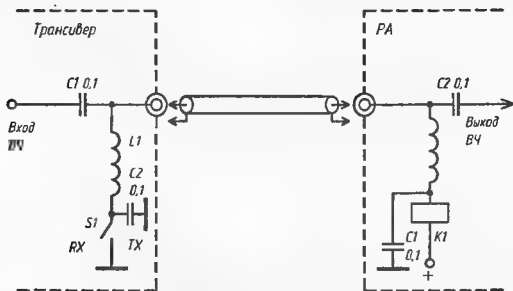


Рис. 6.16. Использование постоянной составляющей для включения РА

Если переключающее реле в трансивере установить затруднительно, то можно использовать транзистор, выдерживающий ток и напряжение коммутируемого реле (рис. 6.17). Хотя принудительная коммутация РА довольно удобна, но ее основной недостаток заключается в том, что необходима переделка трансивера для ее осуществления. При этом РА с трансиверами, не имеющими такой переделки, не будет работать в автоматическом режиме.

В том случае, когда предполагается создание универсального усилителя мощности, который будет работать не только с вашим «домашним» трансивером, но и с другими аппаратами, необходимо использовать коммутацию РА по напряжению ВЧ.

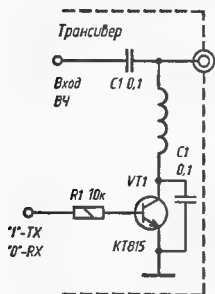


Рис. 6.17. Транзисторная схема включения РА

ним диаметром 5...20 мм и проницаемостью 100...2000. Можно намотать трансформатор и на куске феррита от магнитной антенны.

Если на вход РА подается мощность более 5 Вт, то целесообразно использовать трансформатор тока — рис. 6.19. В этом случае первичная обмотка должна содержать 1...2 витка, вторичная — 5...30 витков и подбирается исходя из реальных условий. Здесь необходимо использовать кольца таких же размеров, как было указано выше, но проницаемостью не более 600.

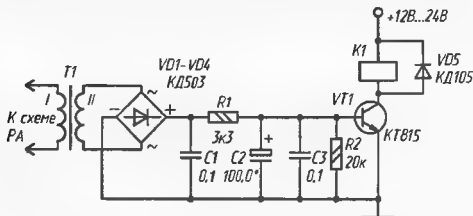


Рис. 6.18. Электронная коммутация РА

При работе РА с трансиверами, мощность которых выше необходимой для его раскачки, возникает опасность «перекачки» РА и вследствие этого — широкий спектр излучаемых передатчиком частот, создающих помехи телевидению.

Лучше всего сразу решить эту проблему при построении РА, дополнив его простой защитой от перевозбуждения (рис. 6.20). При перевозбуждении РА, т. е. при увеличении напряжения возбуждения свыше необходимого, увеличивается напряжение на выходе моста VD1-VD2, пробивается стабилитрон VD5 (подбирается для конкретного случая), открывается транзистор VT2 и включается тиристор VD6. Реле отключает РА (например, снимает напряжение питания с РА); при этом светоизлучающий диод VD6 сигнализирует об аварийном режиме.

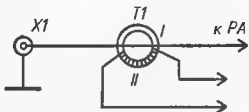


Рис. 6.19. Трансформатор тока

НАСТРОЙКА АНТЕНН И КОНТУРОВ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕРАТОРА ПОМЕХ

Ниже приведена простая схема генератора помех (рис. 6.22), с помощью которого можно выполнить некоторые измерения в антенной технике. Для этой схемы можно использовать реле любого типа с любым напряжением питания, но чем оно выше, тем уровень помех больше. С помощью такого генератора помех можно осуществлять настройку помехозащищенных устройств, а также измерение и наладку высокочастотной аппаратуры.

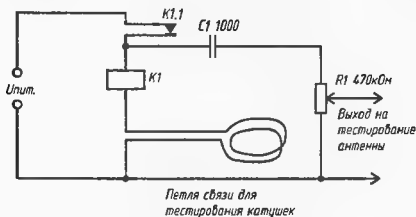


Рис. 6.22. Схема генератора помех

При использовании приемника с непрерывным диапазоном частот можно определить резонансную частоту испытываемого контура (рис. 6.23). Она будет на частоте максимального приема помех.

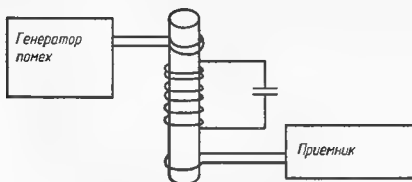


Рис. 6.23. Определение резонансной частоты контура

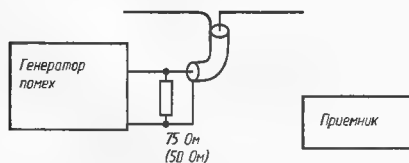


Рис. 6.24. Определение резонансной частоты антенны

При подключении генератора помех к антенне (рис. 6.24) можно определить ее резонансные частоты. Они будут на участках максимального приема помех.

ПРИБОРЫ ДЛЯ НАСТРОЙКИ АНТЕНН

Ниже описаны самодельные приборы для настройки антенн и методика работы с ними. Это как широко распространенные среди радиолюбителей измерительные приборы и методы работы с ними, так и редко применяемые радиолюбителями в своей деятельности.

Некоторые приборы, описанные здесь, можно использовать не только при настройке и согласовании антенн, но и при настройке различной высокочастотной радиолюбительской аппаратуры.

ГЛАВА 7

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В радиолюбительской практике часто необходимо измерять высокочастотное напряжение. Это могут быть измерения напряжения на контурах радиолюбительских передающих устройств при их наладке или при сравнении высокочастотного напряжения на входе и выходе усилителя и, следовательно, при известных значениях входного и нагрузочного сопротивлений устройства в этом случае можно определить коэффициент усиления каскада по мощности или по напряжению.

При наладке антенн измерение напряжения на антенне позволит определить ее резонансные частоты. Если измерить сопротивление антенны, например, с помощью высокочастотного моста, можно определить мощность, поступающую в антенну, и при сравнении значений напряженности электромагнитного поля своей антенны и подобного параметра других антенн, можно судить об эффективности налаживаемой антенны. При измерении высокочастотного напряжения на известной нагрузке можно определить выходную мощность передатчика.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ПРОБНИК

В настоящее время радиолюбители достаточно просто могут приобрести высокочастотный вольтметр, так как их выпущено достаточно много. Но иногда возникает необходимость использовать малогабаритный цифровой вольтметр с ВЧ головкой. Этот прибор более малогабаритный, чем распространенные ВЧ вольтметры и может обеспечить достаточно высокую точность измерения и что уже привычно для радиолюбителей — получение напряжения в цифровой форме.

Простой пробник, позволяющий совместно с цифровым измерительным прибором, имеющим входное сопротивление 10 МОм, измерять высокочастотное напряжение, показан на рис. 7.1.

Это устройство представляет собой высокочастотный детектор, нагрузкой которого является цифровой вольтметр. Если в его конструкции использовать детали с номиналами, указанными на рис. 7.1, то в диапазоне измеряемых напряжений от 1 до 25 В показания цифрового прибора будут соответствовать истинным значениям измеряемого высокочастотного напряжения. Приставка показывает среднее значение напряжения, равное 0,7 от его пикового значения при синусоидальной форме

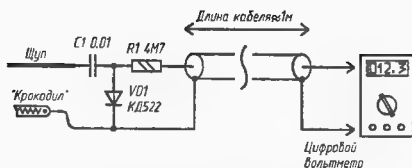


Рис. 7.1. Простой ВЧ пробник

измеряемого сигнала. Исходя из этого, следует выбирать параметры используемых в пробнике диодов. Для измерения высокочастотного напряжения, пиковое значение которого выше обратного пробивного напряжения диода, используемого в детекторе, необходимо последовательно с диодом *VD1* включить другие диоды, число которых будет зависеть от уровня измеряемого напряжения.

Таблица 7.1

ПЕРЕВОД ПОКАЗАНИЙ ВОЛЬТМЕТРА В ИЗМЕРЯЕМУЮ МОЩНОСТЬ

Значение мощности, Вт	Показание вольтметра, В
0,1	2,23
0,2	3,16
0,3	3,87
0,4	4,47
0,5	5,0
0,6	5,47
0,7	5,91
0,8	6,32
0,9	6,7
1,0	7,07
2,0	10,0
3,0	12,25
4,0	14,14
5,0	15,81
6,0	17,32
7,0	18,7
8,0	20,0
9,0	21,21
10,0	22,36
15,0	27,39
20,0	31,32
25,0	35,36

Пробник работает в диапазоне частот от 20 кГц до 200 МГц. Верхняя частота ограничена частотными свойствами диода *VD1*, нижняя — частотными свойствами применяемого конденсатора *C1*. При использовании безындукционных конденсаторов нижний частотный диапазон можно расширить. Пробник имеет входную емкость примерно равную 2...4 пФ, которая в большой степени зависит от его конструкции. Входное сопротивление пробника не менее, чем сопротивление резистора *R1*. Это позволяет измерять этим пробником ВЧ напряжение на резонансных контурах практически без их расстройки.

Конструкция пробника показана на рис. 7.2. Он собран в керамической ламповой панельке с экраном. К центральному выводу панельки припаян щуп, выполненный из медной проволоки толщиной 1 мм и длиной 60 мм. Все выводы

панельки опаяны кольцом из медной проволоки, к которому припаян короткий гибкий проводник с «крокодилом» на конце. В саму панельку вставлен и припаян кусочек фольгированного стеклотекстолита, на котором навесным монтажом собрана схема пробника. Коаксиальный кабель длиной 1 м и диаметром 5 мм на конце распаян на вилку, которая используется в цепях переменного тока 220 В и входит в клеммы измерения напряжения цифрового вольтметра.

Для измерения выходной мощности радиопередающих устройств на нагрузке 50 Ом можно пользоваться табл. 7.1.

Для калибровки пробника необходимо использовать стандартный ВЧ-вольтметр. Подбором сопротивления резистора $R1$ добиваются правильных показаний пробника на его пределах измерения. При этом чем меньше сопротивление $R1$, тем ниже входное сопротивление пробника и тем большие искажения он вносит в измеряемые им цепи.

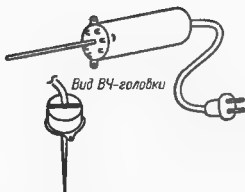


Рис. 7.2. Конструкция лробника

РАСШИРЕНИЕ ДИАПАЗОНА ИЗМЕРЯЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРОБНИКА

Пробник, показанный на рис. 7.1, может обеспечить измерение высокочастотного напряжения в интервале обратных напряжений диода. Для большинства широко доступных высокочастотных диодов обртное напряжение не превышает 50 В. Пробник с таким верхним пределом измерения вполне подойдет для наладки рвзличной полупроводниковой передающей QRP-аппвратуры и антенн при мощностях в пределах 1...5 Вт. Однако иногда бывает необходимо измерять высокочастотное напряжение более высокого уровня. Если в вольтметре, измеряющем постоянное нвпряжение, расширить его предел измерения не представляет сложности (это возможно путем включения добавочного резистора последовтельно с вольтметром), то при измерении высокочастотного нвпряжения подобное невозможно так как резисторы имеют межконцевую емкость, поэтому не могут эффективно работать во всем частном диапазоне приборв .

Нвиболее просто для расширения диапазона измеряемых напряжений использовать емкостный делитель (рис. 7.3), который обеспечивает уменьшение напряжения на пробнике в 10 раз. Делитель в диапазоне частот 1...200 МГц практически не вносит погрешности в измерения. Недостаток его состоит в том, что он увеличивает входную емкость прибора до 10 пФ, но при измерении больших уровней напряжения это часто не имеет большого значения. Кондасатор $C1$ необходимо использовать высоковольтный на напряжение не менее 500 В. Поскольку измерение больших уровней высокочастотного нвпряжения обычно происходит редко, то можно во время провадения таких измерений просто напавивать конденсаторы делителя на щуп, как показано на рис. . 7.4 .

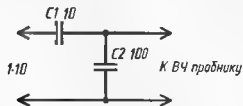


Рис. 7.3. Делитель высокочастотного напряжения

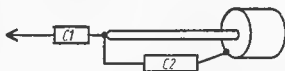


Рис. 7.4. Конструкция делителя

В том случае, когда измерения больших уровней высокочастотного напряжения обычны в практике радиолюбителя, высокочастотный пробник целесообразно выполнить в ствционном варианте.

При измерениях напряжений до 200...300 В увеличить пределы измерений пробника можно путем последовательного включения трех-пяти диодов. Таким пробником можно измерять ВЧ напряжение с достаточной точностью от 10 В.

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТОКА

Радиолюбители часто не уделяют должного внимания измерению высокочастотного тока при наладке антенн. Это связано со сложностью создания эффективных и простых высокочастотных амперметров, показания которых будут достаточно достоверными.

Предложенные в этой главе автором схемы приборов и методы измерения высокочастотного тока позволят радиолюбителю изготовить относительно простые и обеспечивающие высокую точность показаний высокочастотные амперметры.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ АМПЕРМЕТР

При наладке самодельных передающих устройств и особенно при экспериментах с ними, а также наладке различных антенн, желательны иметь высокочастотный амперметр, реагирующий на небольшие токи. Например, при проведении измерения по схеме на рис. 8.1 можно определить ток, потребляемый базой транзистора VT2. Исходя из этого, можно при наладке усилителя увеличивать усиление каскада на VT1 или согласовывать каскад на VT2. Снятие нагрузочной характеристики усилителя, т. е. зависимость тока от сопротивления нагрузки, также важно в экспериментальной работе. Можно подобрать практически оптимальную нагрузку каскада и определить реальную зависимость отдаваемой мощности каскада от сопротивления нагрузки (рис. 8.2).

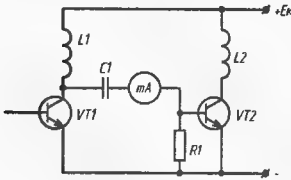


Рис. 8.1. Измерение тока потребления базой транзистора

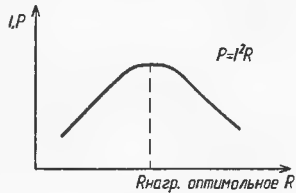


Рис. 8.2. Зависимость отдаваемой мощности каскада от сопротивления нагрузки



Рис. 8.3. Измерение тока антенны

Измерение тока, потребляемого антенной (рис. 8.3), поможет при ее настройке. Минимумы или максимумы тока антенны будут соответствовать ее резонансным частотам.

Автором собран и испытан высокочастотный измеритель тока, схем которого приведен на рис. 8.4. В диагональ диодного моста включен обыкновенный микроамперметр с шунтирующим резистором. Несмотря на простоту схемы, при ее испытаниях оказалось, что с ее помощью можно очень точно для радиолубительской практики (с погрешностью около 10%) измерять ток до 100 мА на частотах от 1,8 МГц до 150 МГц.

Верхний предел измерения соответствует максимальному постоянному току через высокочастотные диоды типа КД522. При использовании современных высокочастотных диодов, особенно с барьером Шоттки, максимальный предел измеряемых токов можно расширить.

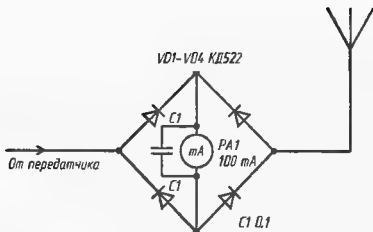


Рис. 8.4. Схема высокочастотного амперметра

При изготовлении этого прибора большое значение для верхнего частотного предела имеет его конструкция. Она должна быть максимально компактной, измерительный прибор должен обладать небольшой собственной емкостью на «землю». В крайнем случае вместо него можно использовать индикатор записи от магнитофона. Сам измерительный прибор и диоды размещаются в пластиковом корпусе достаточного размера, чтобы высокочастотный емкостный ток на «землю» не искажал результаты измерений.

Этот измеритель можно использовать постоянно подключенным в цепь антенны QRP-радиостанции. Он не искажает форму выходного ВЧ сигнала передатчика и потребляет мизерную мощность. Но этот амперметр может служить источником помех, так как в цепь антенны включены нелинейные элементы — диоды. При использовании автором этого амперметра на QRP-радиостанции не наблюдалось помех телевидению при работе мощностью до 5 Вт в диапазонах от 1,8 до 30 МГц.

ЛАМПА НАКАЛИВАНИЯ И СВЕТОДИОД В ЦЕПИ АНТЕННЫ

При небольших мощностях передатчика (до 50 Вт) можно использовать непосредственное включение ламп накаливания в цепь антенны (рис. 8.5). Удобно использовать низковольтные лампочки — 2,5 Вх0,5 А. На них падает небольшая мощность, что практически не сказывается на работе антенной системы и выходного каскада передатчика.

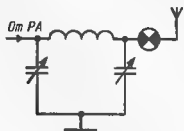


Рис. 8.5. Лампа накаливания в цепи антенны



Рис. 8.7. Светодиод в цепи антенны



Рис. 8.6. Параллельное включение с лампочкой катушки индуктивности

При больших мощностях передатчика или при низкоомных антеннах лампочка может перегореть. Чтобы этого не произошло, необходимо включить параллельно несколько лампочек или, что более эффективно, замкнуть лампочку витком провода или бескаркасной катушкой, состоящей из трех-пяти витков провода диаметром 1 мм и имеющей внутренний диаметр 10 мм (рис. 8.6). Параллельное включение с лампочкой катушки с низкой индуктивностью создает благоприятный режим работы индикатора тока. Поскольку сопротивление катушки увеличивается с частотой, а мощность выходного сигнала обычно с увеличением частоты уменьшается, то лампочка светится равномерно при переходе с низкочастотных диапазонов на высокочастотные. В последнем случае, даже при перегорании лампочки, передатчик все равно будет работать.

В маломощных передатчиках (до 10 Вт) можно использовать светодиод в цепи антенны, замкнув его низкоомным безындукционным резистором сопротивлением 5...10 Ом (рис. 8.7). Современные светодиоды обеспечивают хорошую яркость и широкий диапазон токов свечения светодиода — от 5 до 40 мА отечественные и от 5 до 100 мА импортные светодиоды — без их повреждения. Но светодиод является нелинейным элементом в цепи антенны. Это может проявиться в увеличении уровня гармоник, а, следовательно, и в появлении помех телевидению, создаваемых передатчиком. Конечно, при использовании такой индикации в маломощном передатчике, работа на котором ведется в основном в походе или на даче, это неважно. Нежелательно использовать закорачивающие катушки в цепи светодиода, как это было в случае использования лампочек. Катушка со светодиодом образует резонансный контур с нелинейным элементом и может служить источником повышенных помех на частотах резонанса контура.

С помощью индикатора на лампочке накаливания или на светодиоде можно только качественно измерить антенный ток, определив его при этом «на глаз». Как светодиод, так и лампочка обладают реактивными составляющими в своем сопротивлении токам высокой частоты, что снижает достоверность полученных значений антенного тока при переходе с диапазонов на диапазон. Такие индикаторы желательно использовать лишь как качественные показатели антенного тока в уже встроженных антенных системах.

ТРАНСФОРМАТОР ТОКА В ЦЕПИ АНТЕННЫ

Для измерения тока антенны вместо дефицитной термопары можно использовать трансформатор тока (рис. 8.8). Трансформатор тока представляет собой ферритовое кольцо (желательно с небольшой проницаемостью), через которое проходит антенный провод — первичная обмотка трансформатора. На этом кольце намотано от 5 до 20 витков провода в зависимости от чувствительности измерительного прибора и мощности передатчика — вторичная обмотка трансформатора. Размеры кольца не критичны, диаметр может быть в пределах 5...15 мм. Если использовать кольцо с проницаемостью выше 20, то при больших мощностях передатчика (более 100 Вт) оно будет сильно нагреваться и даже может разрушиться, особенно при работе на верхних любительских КВ диапазонах. Вместо ферритового кольца с несколько худшими результатами можно использовать любое подходящее кольцо из плавмассы, стеклотекстолитовую шайбу, керамическое кольцо от ротора старого галетного переключателя. Число витков вторичной обмотки в этом случае будет равно 10...30.

Трансформатор тока, изображенный на рис. 8.8, подходит для измерения тока антенны при малых мощностях, подводимых к ней, — до 1 Вт. При больших мощностях трансивера следует использовать схему, изображенную на рис. 8.9. В этом случае обмотка трансформатора шунтируется резистором R_1 , а последовательно с измерительным прибором $PA1$ включается резистор R_2 . Сопротивления этих резисторов зависят от мощности передатчика, используемого в трансформаторе тока ферритового кольца и чувствительности измерительного прибора $PA1$. При чувствитель-

ности $PA1 = 1$ мА, подводимой мощности до 100 Вт, кольцо проницаемостью 100...400, его наружным диаметром до 10 мм и числом витков вторичной обмотки 20 сопротивление $R1$ может быть в пределах 27...51 Ом, в $R2$ — 3,9...6,8 кОм.

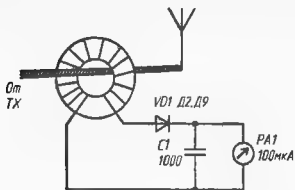


Рис. 8.8. Трансформатор тока в цепи антенны

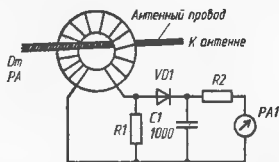


Рис. 8.9. Трансформатор тока с расширенным диапазоном измерения

Для точного измерения тока антенны устройство необходимо откалибровать. Для этого можно использовать высокочастотный ваттметр. Измеряя максимальную выходную мощность передатчика, с помощью $R1$ или $R2$ устанавливают стрелку прибора $PA1$ на конец шкалы. Затем, уменьшая мощность передатчика, калибруют $PA1$. Калибровку следует проводить на средней частоте работы трансивера обычно — 7 МГц. После этого следует проверить правильность показаний $PA1$ и на других диапазонах.

В схему высокочастотного амперметра входит трансформатор тока. Он является частотозависимым элементом, поэтому показания прибора на разных частотах могут отличаться. Для улучшения линейности частотной характеристики необходимо уменьшать сопротивление резистора $R1$, но до той степени, пока сопротивление резистора $R2$ не будет менее 1 кОм. Погрешность показаний высокочастотного амперметра с трансформатором тока, выполненном в любительских условиях, может достигать 25% в зависимости от частоты его применения. Диапазон измерений лежит в пределах 2...30 МГц; при этом на краях диапазонов погрешность будет максимальной.

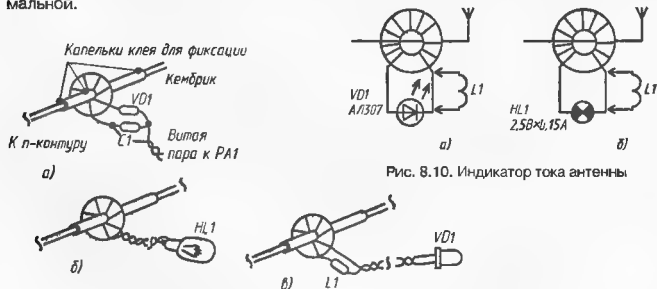


Рис. 8.10. Индикатор тока антенны

Рис. 8.11. Конструкция индикатора тока антенны

Если на передней панели трансивера или усилителя мощности нет мест для установки измерительного прибора, можно использовать схему, приведенную на рис. 8.10. В этом случае настройка выходного каскада на отдачу максимального тока в антенну будет осуществляться по яркости свечения светодиода или, при больших мощностях, по яркости свечения лампочки. Этот индикатор дает завышенные пока-

зания на верхних КВ диапазонах, поэтому, если усилитель отдает одинаковую мощность на всех диапазонах, целесообразно включить в цепь светодиода или лампочки дроссель, состоящий из 20...100 витков провода ПЭЛ-0,2, намотанных на каркасе резистора типа ВС-0,25.

При использовании в трансформаторе тока пластмассового каркаса размерами 20×7×7 вторичная обмотка должна содержать 17 витков провода ПЭЛ-0,5. Дроссель, выполненный на резисторе типа ВС-0,25, имеет 60 витков провода ПЭЛ-0,2, намотанных внавал. В качестве индикатора в этом случае использовался светодиод АЛ307Б.

При использовании ферритовых колец вторичная обмотка будет содержать от 2 до 5 витков при работе на светодиод и до 10 витков при работе на лампочку 2,5 В×0,15 А. Испытания проводились при подаваемой мощности к оконечному каскаду до 80 Вт.

Если светодиод светится без подключения антенны, то это означает, что на кольцо трансформатора наводится высокочастотная энергия. Для устранения этого эффекта необходимо изменить пространственное положение трансформаторов тока. Конструкция системы показана на рис. 8.11.

МОСТОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТОКА

Для измерения высокочастотного тока в приборах промышленного изготовления иногда используются мостовые амперметры, упрощенная схема которого приведена на рис. 8.12 (Мешковец А. Высокочастотный вмпметр.— Радио, 1980, № 5, с. 23). В этом приборе сопротивление резистора R_4 изменяется в зависимости от величины протекающего через него высокочастотного тока и по разбалансировке моста, возникающей при этом, судят о величине тока, вызвавшего это изменение. Баланс моста устанавливают на постоянном токе. Резистор R_4 представляет собой

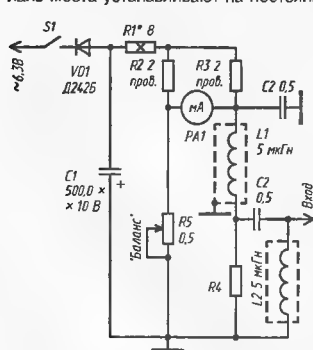


Рис. 8.12. Высокочастотный мостовой амперметр

тонкую проволоку, выполненную из специального материала, помещенную в стеклянную колбу. В зависимости от измеряемой мощности определяется конструкция этого резистора. Колба может быть заполнена каким-либо газом или в ней может быть вакуум. При измерении высокочастотного тока цепи постоянного и высокочастотного токов развязаны.

Корпус этого прибора заземлен, а вход для измерения тока находится непосредственно на самом приборе, и, вследствие этого, для измерения высокочастотного тока необходимо подсоединять прибор коротким проводником к измеряемой цепи или использовать для этого коаксиальный кабель, что не всегда удобно и приводит к погрешностям измерения. Сложна и конструкция резистора R_4 , что не позволяет выполнить этот прибор в радиолюбительских условиях.

Схема самодельного мостового самобалансирующегося измерителя тока, в котором устранены указанные недостатки, приведена на рис. 8.13. В этом приборе отсутствует ненадежный проволочный переменный резистор; вместо него включена лампочка 2,5 В×0,75 А. Балансировка прибора осуществляется изменением постоянного напряжения, подаваемого на мостовой измеритель от регулируемого источника пи-

тания типа ИПС-1. Сопротивление лампочки увеличивается при протекании тока через нить накала примерно в 10 раз по сравнению с ее холодным состоянием. При этом вольт-амперные характеристики лампочки и резистора R3 будут пересекаться. Это дает возможность проводить балансировку мостового измерителя простым изменением напряжения на мосте без использования переменного резистора. В нагретом состоянии нить накала лампочки имеет стабильное сопротивление, что необходимо для корректной работы моста. В приборе, изготовленном автором, при напряжении примерно 3,5 В мост балансировался и можно было проводить измерения.

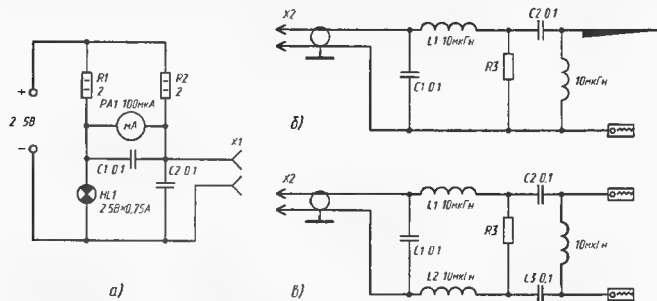


Рис. 8.13. Самобалансирующийся высокочастотный амперметр

Высокочастотная измерительная часть прибора (рис. 8.13б) выполнена в виде отдельного выносного щупа. «Земля» щупа снабжена зажимом типа «крокодил», а высокочастотный вход выполнен в виде короткого штыря. Это позволяет проводить измерения высокочастотного тока с минимальными погрешностями непосредственно в радиоаппаратуре. Прибором можно измерять ток любых заземленных высокочастотных цепей, например ток эквивалента антенны, ток, протекающий в противовесе, подключенном к передатчику. Измерение тока противовеса в случае использования однопроводных антенн, подключенных к выходному каскаду непосредственно, позволяет осуществить настройку антенной системы. Выполняя регулировку длины противовесов или их согласующих цепей, добиваются максимального тока в них. Это позволяет настроить антенную систему в резонанс, избежать «горячего» прикосновения к корпусу передатчика.

Щупом удобно пользоваться при измерении тока в эмиттерных и катодных цепях выходных и предоконечных каскадов усилителей мощности. В качестве резистора R3 (рис. 8.13) использован нихромовый провод толщиной 0,4 мм и длиной 12 см. Сопротивление постоянному току этого проводника равно 0,8 Ом. Высокочастотный амперметр испытывался в диапазоне частот 1,8...30 МГц. Начиная от частоты 24 МГц погрешность измерения составила более 15% и достигала 25% на 30 МГц. Погрешность показаний была а сторону увеличения тока, что связано, вероятно, с поверхностным эффектом протекания тока и индуктивностью проводника измерительного резистора — нити накала лампочки. С указанной конструкцией резисторе R3 было возможно измерение высокочастотного тока до 5 А.

К мостовому измерителю добавлен выносной щуп, позволяющий «развязаться» от «земли». Схема щупа приведена на рис. 8.13в. Резистор R3 с помощью высокочастотных дросселей L1 и L2 «развязан» по высокой частоте от «земли», что дает возможность измерять ток антенн и более точно измерять ток в противовесах, подклю-

ченных к передатчику. Щупы выносного измерителя выполнены максимально короткими и для удобства проведения измерений снабжены зажимами типа «крокодил». Дроссели $L1, L2, L3$ выполнены на пластиковом каркасе диаметром 8 мм, в качестве которого использовалась одноразовая шариковая авторучка, проводом ПЭЛ-0,44 виток к витку на длине 80 мм.

В авторском варианте выполнения высокочастотного амперметра произведена калибровка так, что при токе измерения 1 А ток отклонения РА1 измерителя равнялся 100 мкА. В качестве измерительного прибора использован цифровой мультиметр. При измерении высокочастотных токов более 1 А необходимо использовать предел измерений мультиметра кратный 100 мкА с соответствующей коррекцией его показаний.

Таблица 8.1

$P, Вт$	0,1	0,25	0,5	0,8	1	2	3	4	5	6	7
I, A	0,044	0,07	0,1	0,126	0,14	0,2	0,24	0,26	0,32	0,34	0,37
$P, Вт$	8	9	10	20	30	40	50	50	70	80	100
I, A	0,4	0,42	0,45	0,63	0,77	0,89	1	1,1	1,18	1,26	1,41

В табл. 8.1 приведены значения тока в нагрузке 50 Ом при различной подводимой к ней мощности. Недостатком мостового амперметра является инерционность измерения, составляющая несколько секунд, необходимых для нагревания измерительного резистора. В качестве измерительного прибора РА1 можно использовать микроамперметр с током полного отклонения 100 мкА. Перед проведением измерений мостовой амперметр необходимо откалибровать. Это можно сделать с помощью промышленного высокочастотного амперметра или использовать данные, приведенные в табл. 8.1. Напряжение на нагрузке можно определить с помощью высокочастотного вольтметра, схема которого приведена в гл. 7.

ГЛАВА 9

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ

Считается, что измерение выходной мощности передатчика не относится к теме настройки и согласования антенн. Но это не так. Измерение мощности как поглощаемой антенной, так и проходящей, может дать полезную информацию о работе антенной системы.

В этой главе описан ряд простых приборов, с помощью которых можно определить мощность, отдаваемую передатчиком в нагрузку. Зная мощность, которую выходной каскад может отдать в активную нагрузку, и определяя мощность, потребляемую антенной (даже с помощью простых приборов), можно судить о работе антенны как о потребителе высокочастотной энергии. Проведя измерения входного сопротивления антенны и уровня напряженности создаваемого при этом электромагнитного поля, можно судить об эффективности ее работы.

ПРОСТОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ

Очень простой и в то же время точный измеритель мощности можно собрать по схеме на рис. 9.1.

Резистор $R1$ набран из резисторов типа МЛТ-2. Он должен быть рассчитан на ту максимальную мощность, какую будет измерять прибор. Сопротивления резисторов

$R3$ и $R4$ зависят от применяемого измерительного прибора и максимальной мощности измерения ваттметра. Дiode $VD1$ — любой высокочастотный.

Прибор удобно откалибровать сразу в единицах измерения мощности. Для этого от регулируемого источника питания подают изменяемое постоянное напряжение на нагрузку $R1$ и по известной формуле

$$P = U^2 / R_1,$$

где U — напряжение на $R1$;

P — мощность, рассеиваемая в $R1$,

рассчитывают мощность, выделяемую в нагрузке $R1$. При подаче на ваттметр постоянного напряжения показания индикатора мощности будут такими же, как и при подаче на него напряжения высокой частоты.

Конструктивно прибор размещен в литровой жестяной консервной банке из-под сока (рис. 9.2). На месте верхней крышки находился индикатор, на нижней крышке — входное гнездо $X1$ и тумблер $S1$. К банке припаяна толстая П-образная медная проволока, служащая опорой.



Рис. 9.2. Конструкция ваттметра

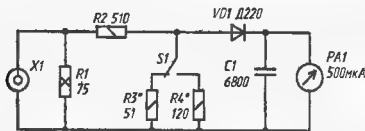


Рис. 9.1. Схема простого измерителя мощности

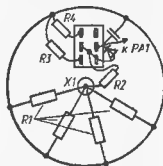


Рис. 9.3. Распайка резисторов нагрузки

Резисторы нагрузки припаяны к гнезду $X1$, которое находится в центре нижней крышки, и к бокам банки (рис. 9.3). Остальные детали установлены согласно рисунку. Такая конструкция обеспечила малый КСВ в диапазоне частот 1...100 МГц и хорошую теплоотдачу.

ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ — ИНДИКАТОР НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ

При работе на радиостанции желательно иметь измеритель напряженности поля. Он поможет при настройке антенн, при контроле работоспособности ранее установленных антенных систем. ВЧ-метр должен быть достаточно чувствительным, чтобы обнаружить ВЧ-поле, создаваемое антенной переносной радиостанции или поле удаленной стационарной антенны, расположенной, например, на крыше здания.

При настройке некоторых типов антенн, расположенных, например, на передающих объектах, а также антенн, работающих не на основных резонансных частотах, а используемых с помощью согласующих устройств как вспомогательные, получают более точные результаты при настройке не только с помощью КСВ-метра, а комбинированно, измерением КСВ и напряженности поля. Желательно также иметь на радиостанции измеритель мощности. Используя его, можно измерить мощность передатчика, например, после его модернизации или при питании выходного каскада повышенным напряжением, которое допускают выходные транзисторы или микросхемы. Простое повышение питания с 12 до 16...18 В позволяет увеличить выходную мощность радиостанции почти в 2 раза.

Наиболее простая схема комбинированного измерителя напряженности ВЧ-поля и измерителя мощности приведена на рис. 9.4. Этот прибор позволяет измерять мощность радиостанций, работающих в диапазоне до 150 МГц, на двух пределах измерения: 1 Вт и 10 Вт. Измеритель напряженности поля собран по апериодической схеме. Он может измерять напряженность поля, создаваемое радиостанциями, работающими в диапазоне частот от 100 кГц до 150 МГц и минимальной мощностью от нескольких десятков милливатт.

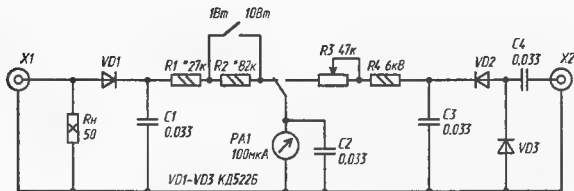


Рис. 9.4. Схема комбинированного измерителя мощности и напряженности поля

При переключении $S1$ в положение «ВЧ-метр» происходит измерение напряженности электромагнитного поля. С помощью резистора $R3$ можно произвести регулировку чувствительности прибора. В качестве $PA1$ желательно использовать стрелочный измерительный прибор с чувствительностью не более 100 мкА, но, смирившись с нелинейностью шкалы на малых уровнях измеряемой мощности, можно использовать и более «грубые» измерители с чувствительностью до 1 мА. В таком случае необходимо произвести подбор $R4$ по минимальной чувствительности. Чем больше сопротивление $R1$ и $R4$, тем выше линейность показаний измерителя мощности и ВЧ-метра.

При переключении $S1$ в положение «измерение мощности» происходит измерение мощности на нагрузке 50 Ом. Резистор нагрузки составлен из 10 или 9 резисторов типа МЛТ-2 сопротивлением 470 Ом. Конечное их число определяется разбросом сопротивлений и подбирается практически по наиболее близкому общему сопротивлению к 50 Ом. Если необходимо иметь нагрузку 75 Ом, используют восемь-девять резисторов сопротивлением 620 Ом.

Подбором резистора $R1$ необходимо откалибровать измеритель мощности на нижнем пределе измерения. Наиболее просто это сделать, используя промышленный измеритель мощности и радиостанцию с регулируемой мощностью. Желательно откалибровать измеритель мощности на двух пределах: 1 Вт и 10 Вт. Это позволит корректно измерять мощность переносных радиостанций и большинства стационарных. В зависимости от шкалы прибора $PA1$ и выходной мощности измеряемых радиостанций можно выставить другие пределы мощности, например, 3 Вт и 30 Вт. Нелинейность измерения будет проявляться лишь на начальной четверти шкалы при использовании измерительного прибора чувствительностью 100 мкА и до трети шкалы при использовании измерителя чувствительностью 1 мА.

При рациональном монтаже можно корректно измерять мощность в диапазоне частот от 1,8 до 144 МГц. Нагрузочные резисторы, входящие в состав конструкции резистора $R1$, монтируются непосредственно на гнезде $X1$. Выводы составляющих резисторов должны быть максимально короткими.

Монтаж измерителя напряженности поля выполнен навесным монтажом на фольгированном стеклотекстолите. Все выводы деталей, особенно выводы конденсаторов, должны быть максимально короткими. Конденсатор $C2$ монтируется на выводах микроамперметра, сам измеритель выполнен в корпусе, спаянном из фольгированного стеклотекстолита.

ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ НА ФОТОЭЛЕМЕНТАХ

В настоящее время широко распространенные фотоаппараты типа «Кодак» вытеснили отечественные и сделали ненужными фотоэкспонметры, которые сейчас у многих лежат без дела. А ведь это почти готовый прибор для измерения выходной мощности радиостанции!

Если собрать схему, приведенную на рис. 9.5, то можно весьма просто осуществить измерение мощности, начиная от уровня 0,5 Вт, а с указанными параметрами $R1-R4$ и $VL1-VL2$ — до 50 Вт. При желании диапазон измеряемых мощностей можно расширить коррекцией мощности сопротивлений нагрузки как в сторону больших, так и меньших уровней.

Схема работает следующим образом. При подаче высокочастотной мощности от передатчика лампочки светятся, и фотоэлемент вырабатывает ток, достаточный для его регистрации прибором $PA1$.

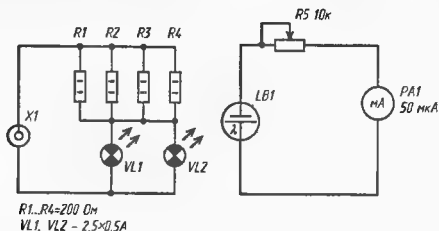


Рис. 9.5. Ваттметр на фотоэлементах

Как показали опыты с использованием различных типов фотоэкспонметров, обеспечивается практически линейное измерение мощности при указанных ее уровнях. Это возможно потому, что нагрузочная характеристика солнечной батареи и характеристика сопротивления нити накала электрической лампочки (ее светоотдача) являются взаимнообратными, и компенсируют искажения, вносимые друг другом при измерении мощности. Прибор легко откалибровать, подав на вход постоянное напряжение. Если резисторы $R1-R4$ не устанавливать, а использовать только одну лампочку, рассчитанную на соответствующий ток, то можно получить простой и точный ВЧ амперметр (рис. 9.6), обладающий малой емкостью и небольшим сопротивлением. Ваттметр-амперметр с лампочкой работает линейно до 50 МГц, затем показания прибора будут нелинейными, и необходима дополнительная калибровка прибора для его работы на высокочастотных пределах измерения.

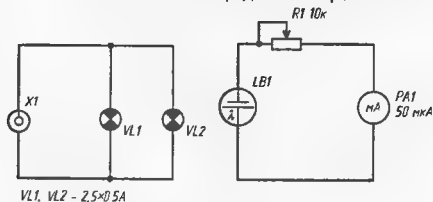


Рис. 9.6. Высокочастотный амперметр

Проведены опыты по использованию в качестве фотоэлемента солнечной батарейки от неисправного калькулятора и одного фотоэлемента солнечной батареи,

но наилучшие показатели (линейность измерения мощности и чувствительность) были достигнуты с использованием фотоэлементов от фотоэкспонетров.

Конструктивно прибор выполнен в корпусе из фольгированного стеклотекстолита, исключающего попадание света на фотоэлемент помимо лампочки. Для увеличения чувствительности полезно внутреннюю поверхность ваттметра обклеить светоотражающей фольгой.

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОХОДЯЩЕЙ МОЩНОСТИ НА УКВ

На УКВ диапазонах 144...430 МГц измерять проходящую мощность и ток в антенне одновременно целесообразно с помощью направленных ответвителей. Это позволяет использовать измеритель мощности постоянно включенным в цепь антенны при обычной работе в эфире и выявлять неполадки в антенно-фидерном тракте.

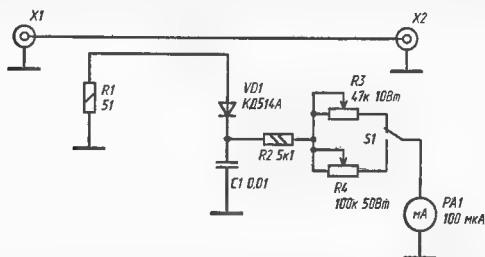


Рис. 9.7. Измеритель проходящей мощности

Наиболее простая схема измерителя проходящей мощности показана на рис. 9.7. Она представляет собой направленный ответвитель и дает верные показания только при согласованной нагрузке, чем обычно и являются антенны УКВ диапазонов. Если поменять местами подключение антенны и передатчика, то прибор покажет отраженную волну и по отношению прямой и отраженной волн можно судить о КСВ антенны.

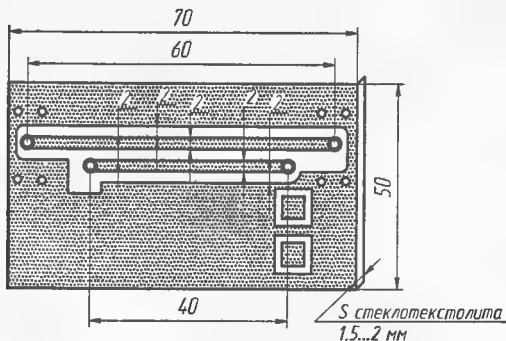


Рис. 9.8. Топология схемы

Направленный ответвитель выполнен на двухсторонней печатной плате из фольгированного стеклотекстолита размером 70х50 мм. Вид на топологию схемы показан на рис. 9.8 (в скобках приведены размеры для диапазона 430 МГц). На рис. 9.9 показано расположение элементов на плате. После калибровки измеритель мощности желательно поместить в корпус из фольгированного стеклотекстолита, который исключит влияние на него дестабилизирующих факторов при проведении измерений. Для правильной работы направленного ответвителя необходимо на плате около линии передачи тщательно пропаять не менее 12 переходов с одной стороны платы на другую. При правильном монтаже прибора и использовании исправных деталей необходимо только откалибровать показания индикатора мощности с помощью резисторов $R3$ и $R4$ на двух пределах ее измерения. Это желательно сделать при помощи стандартного ваттметра. По показаниям мощности можно судить о токе, поступающем в антенну.

В измерителе мощности можно использовать диоды типа КД514А, в крайнем случае КД522. Если предполагается использовать прибор в двух УКВ диапазонах (144 и 430 МГц), то его необходимо откалибровать на каждом из них.

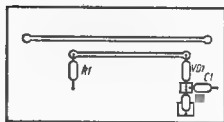


Рис. 9.9. Расположение элементов на плате

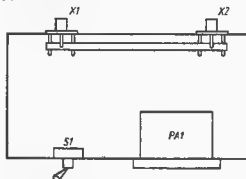


Рис. 9.10. Конструкция ваттметра проходящей мощности

Монтаж должен быть максимально компактным, плата запылена непосредственно на соединители $X1$ и $X2$ (рис. 9.10). Измерительный прибор, используемый в ваттметре, определяется необходимой чувствительностью; его желательно использовать с максимальной ценой деления 100 мкА. С таким микроамперметром можно измерять мощность в пределах 10 и 50 Вт практически линейно. Топология печатной платы выполнена для работы в 50-омном тракте.

КОНСТРУИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ ВАТТМЕТРА

Для корректного измерения мощности ваттметр, подключенный к передатчику, должен обеспечивать КСВ на его выходе как можно близким к 1. Это условие в основном зависит от конструкции активной нагрузки. В диапазонах КВ 2...30 МГц и в УКВ диапазоне 144 МГц для обеспечения необходимой рассеиваемой мощности нагрузку можно набирать из резисторов с большим сопротивлением, включенных параллельно (рис. 9.11). Общая рассеиваемая на них мощность при этом равна их суммарной номинальной мощности. Число резисторов зависит от рассеиваемой на них мощности. Топология печатной платы такой нагрузки совпадает с ее электрической схемой. При измерении мощности непродолжительное время резисторы выдерживают мощность, рассеиваемую на них, в 3...4 раза большую номинальной. Но при длительной работе нагрузки суммарная мощность резисторов должна быть не менее той, что на них рассеивается. Общее сопротивление нагрузки на схеме, приведенной на рис. 9.11, определяется как

$$R_n = \frac{R}{n},$$

где R_n — суммарное сопротивление нагрузки;
 R — сопротивление одиночного резистора;
 n — число резисторов.

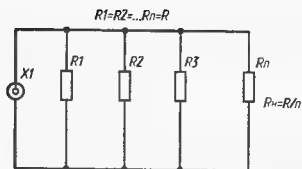


Рис. 9.11. Схема нагрузки параллельного типа

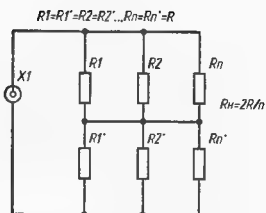


Рис. 9.12. Схема нагрузки последовательно-параллельного типа

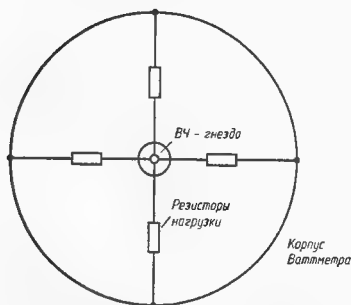


Рис. 9.13. Монтаж нагрузки на высокочастотном соединителе

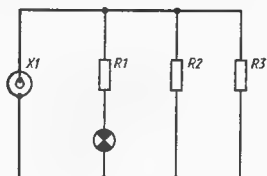
Если из имеющихся в наличии резисторов трудно набрать необходимые для работы в схеме на рис. 9.11, то можно использовать схему, приведенную на рис. 9.12.

Здесь нагрузочные резисторы включены последовательно-параллельно, и суммарное сопротивление нагрузки рассчитывается по следующей формуле:

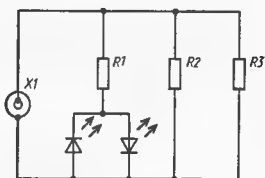
$$R_n = \frac{2R}{n},$$

где R_n — суммарное сопротивление нагрузки;
 R — сопротивление одиночного резистора;
 n — число резисторов в цепи.

Топология печатной платы схемы соответствует ее электрической принципиальной. Резисторы нагрузки можно монтировать прямо на выводе входного высокочастотного соединителя (рис. 9.13) «звездой». Для сборки нагрузки необходимо использовать безындукционные резисторы, в которых проводящий слой сплошной, а не витой.



а)



б) VD1-VD2 АЛ3076

Рис. 9.14. Нагрузка с индикацией поступающей в нее мощности

Для визуальной индикации поступающей в нагрузку мощности можно включить в одно из плеч резисторов малогабаритную лампочку накаливания или два светодиода, включенных встречно-параллельно (рис. 9.14). При числе резисторов в плече нагрузки более пяти включение светового индикатора практически не сказывается на ее нагрузочные параметры при различной рассеиваемой на ней мощности.

АТТЕНУАТОР МОЩНОСТИ ПЕРЕДАТЧИКА

За последние годы в страны СНГ поступает все большее количество западной радиопередающей аппаратуры как для работы на СВ, так и для любительской КВ-связи, выходные каскады которой собраны на транзисторах. Долгий опыт общения с ламповой аппаратурой, не боящейся случайных антенн, приучил наших радиолюбителей не очень то беспокоиться о согласовании антенны с выходом передатчика. Как результат этого — при подключении случайных антенн (даже через согласующее устройство, которое в течение некоторого времени после его настройки на реальную антенну не обеспечивает приемлемого КСВ), возможен выход из строя транзисторов (которые могут быть у нас в стране очень дефицитными!) выходного каскада передатчика. Для устранения этого надо принять за правило — включать передатчик на настройку с согласующим устройством только через аттенуатор мощности; он может быть как встроенным в согласующее устройство, так и выполнен отдельно (рис. 9.15), если, конечно, в передатчике не предусмотрена плавная регулировка мощности.

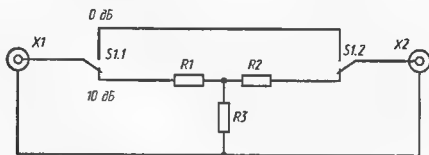


Рис. 9.15. Атенуатор мощности передатчика

Данные резисторов для аттенуатора приведены в табл. 9.1. Чтобы можно было производить длительную настройку стоваттного передатчика, мощность рассеяния каждого из резисторов $R1$, $R2$ должна быть не менее 25 Вт, мощность рассеяния резистора $R3$ должна быть 30 Вт. Эти наборы осуществляют из резисторов типа МЛТ-2 до их номинального, в соответствии с табл. 9.1, сопротивления. При согласовании аттенуатора с антенной, т. е. при равенстве входного сопротивления антенны входному сопротивлению аттенуатора, КСВ в тракте трансивер-аттенуатор будет равен 1:1. При любом рассогласовании аттенуатора с антенной будь-то режим холостого хода или режим короткого замыкания, КСВ в тракте трансивер-аттенуатор не будет превышать 2:1, что вполне допустимо для работы транзисторных выходных каскадов передатчиков.

Этот аттенуатор можно использовать как простейшее согласующее устройство в тракте трансивер-антенна, смирившись, конечно, с ослаблением, вносимым аттенуатором. На верхних КВ-диапазонах наиболее часто происходит рассогласование случайных антенн и выход из строя выходных транзисторов передатчика. Но именно на этих диапазонах даже с QRP-уровнем мощности можно проводить QSO и при этом быть совершенно уверенным в сохранности передатчика. Ослабление на

Таблица 9.1

ДАННЫЕ РЕЗИСТОРОВ АТТЕНУАТОРА

R входа, Ом	$R1, R2$, Ом	$R3$, Ом
50	26	35
75	40	52

прием, вносимое аттенуатором, как показывает опыт, во многих случаях удается компенсировать силами трансивера — например, его усилителем ВЧ по приему.

Полезен аттенуатор и при работе трансивера с внешним усилителем мощности. Во многих случаях нет необходимости «закачивать» в РА всю мощность трансивера, а ослабление мощности сигнала драйвером трансивера увеличивает шум при работе трансивера на передачу. Аттенуатор позволит избежать этого. Аттенуатор полезен и при наладке антенн приборами, требующими небольшого уровня мощности (например, ВЧ-мост) или при измерении диаграммы направленности антенны.

ГЛАВА 10

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКЕ

Измерению напряженности электромагнитного поля (ЭМП) радиолюбители часто не уделяют должного внимания в своей практике, что, на наш взгляд, очень важно при настройке антенн. Конструкция большинства измерителей ЭМП гораздо проще традиционных приборов, используемых для настройки антенн — КСВ-метров, высокочастотных мостов. Во многих случаях с помощью индикаторов напряженности ЭМП можно не только настраивать антенны по максимуму излучения, или что тоже самое по минимуму КСВ, но и определять рассогласование антенны с линией передачи, находить излучающие металлические отяжки, участки «просачивания» электромагнитной энергии через фидер. Часто работать с измерителем напряженности поля даже удобнее, так как не требуется включения в антенно-фидерный тракт посторонних приборов — например, КСВ-метра, который иногда бывает выполнен или не на то волновое сопротивление кабеля или не имеет необходимых соединителей для подключения данного фидерного тракта.

При некотором опыте работы с постоянным измерителем напряженности можно довольно точно определять параметры системы передатчик—антенно-фидерный тракт—антенна. Даже при наличии КСВ-метра в фидерном тракте измеритель напряженности поля часто является полезным. Автору встречались случаи, когда при в общем-то нормальном КСВ в фидере, находящимся в пределах 1,5...2, антенна практически не излучала. Причиной могли быть неправильная настройка антенного тюнера, выход из строя коаксиального кабеля (резкое увеличение в нем затухания), опорного или центрального изолятора антенны.

В том случае, когда на радиостанции длительное время измеряется КСВ в фидере и напряженность электромагнитного поля, резкое изменение одного из параметров свидетельствует о явной неисправности в антенно-фидерном тракте или в выходном каскаде передатчика (например, возбуждение РА на частотах за пределами любительского диапазона).

ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА. ЕЕ ПАРАМЕТРЫ

В учебнике физики поясняется, что электромагнитная волна (ЭМВ), которую излучает наш передатчик, есть комбинация двух типов волн — электрической и магнитной (рис. 10.1), свободно распространяющихся в пространстве. Во всяком случае, ее можно описать как взаимодействие этих двух колебаний. При распространении электромагнитной волны в свободном пространстве, вектор электрической напряженности поля E и вектор магнитной напряженности поля H взаимно перпендикулярны друг другу. При прохождении электромагнитной волны через разные среды наклон E и H относительно друг друга может изменяться. Для практического измерения напряженности

ЭМВ важно лишь понимание, что она содержит два различных вектора — E и H . Следовательно, можно производить измерения этих двух параметров ЭМВ — ее электрической и магнитной составляющей. В радиолюбительских условиях эти измерения не требуют высокой точности. Это не напряжение и ток в электрической сети, когда зная эти величины, можно судить о мощности, потребляемой электроприбором.

Для измерения напряжения в электрической сети используют вольтметр, для измерения тока — амперметр. Более сложно устроены приборы для измерения сдвига фаз между ними. Для измерения параметров ЭМВ используются приборы, аналогичные измерителям переменного тока в сети. Для ЭМВ ее E -компонента подобна напряжению в сети, а ее H -компонента — току в сети. При протекании тока по проводам мы измеряем напряжение относительно проводников, по которым протекает ток. При этом единица измерения — вольты. При распространении ЭМВ в свободном пространстве (упрощенно), как в случае протекания тока по проводам, включиться в цепь тока нельзя. В этом случае используют косвенные измерения. Они основаны на том, что при помещении в переменное магнитное поле проводника на его концах будет наводиться высокочастотное напряжение, определяемое параметрами этого поля. Напряженность электромагнитного поля определяется в единицах вольт/метр. Понятно, что такие косвенные измерения имеют существенную погрешность. Она определяется длиной измерительного проводника, расположенного в переменном поле, его ориентацией относительно вектора E , и многими другими величинами.

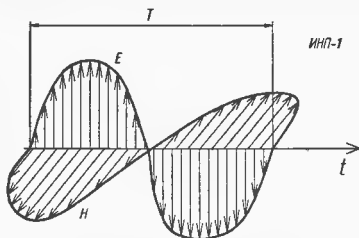


Рис. 10.1. Графическое представление электромагнитной волны

Для определения параметров магнитного поля используют петлю, помещенную в переменное магнитное поле. По наводимому в ней току косвенно судят о напряженности ЭМВ. В этом случае, как и при измерении напряженности электрического поля, существуют значительные инструментальные погрешности. Определение угла наклона между векторами E и H представляет собой еще более сложную задачу.

Для измерения напряженности электрической составляющей радиоволны необходимо использовать антенну длиной не более 0,05 длины измеряемой волны. В этом случае влиянием магнитной составляющей на измерительную антенну можно пренебречь. Для измерения магнитной составляющей необходимо использовать петлю с периметром не более 0,05 длины измеряемой волны. В этом случае влиянием электрической составляющей ЭМВ на петлю также можно пренебречь. В некоторых случаях используют дополнительное электростатическое экранирование петли.

УСТРОЙСТВО ИНДИКАТОРА НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Схема аperiodического измерителя напряженности электрического поля приведена на рис. 10.2, резонансного измерителя — на рис. 10.3. Аperiodический измеритель состоит из короткой антенны $A1$, дросселя $L1$ детекторной секции $VD1$, фильтра $R1C1$, измерительного прибора $PA1$. Любое высокочастотное электромагнитное колебание, создающее напряжение на дросселе $L1$, достаточное для открывания диода $VD1$, и имеющее частоту, которую может детектировать диод, будет индцироваться этим прибором. Резонансный измеритель напряженности вместо широкоп

лосного дросселя на входе имеет частотно-избирательную цепь — контур, который настраивается в резонанс с принимаемым сигналом. Это, во первых, повышает чувствительность прибора за счет явления резонанса в контуре, а во вторых уменьшает погрешности показаний за счет исключения детектирования измерителем напряженности поля мощных сигналов других нежелательных частот.

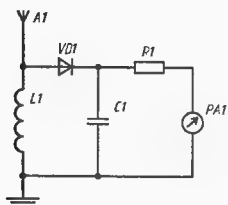


Рис. 10.2. Апериодический измеритель напряженности электрического поля ЭМВ

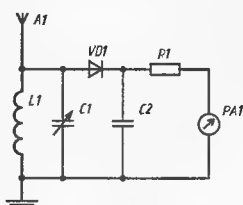


Рис. 10.3. Резонансный измеритель напряженности электрического поля ЭМВ

Рассмотрим некоторые основные погрешности измерителей напряженности электрического поля ЭМВ. Известно, что полупроводниковый диод имеет нелинейную квадратичную вольт-амперную характеристику. Вольт-амперная характеристика резистора прямолинейна, ее угол наклона зависит только от величины этого сопротивления. На рис. 10.4 представлены вольт-амперные характеристики диода VD , сопротивлений $R1$ и $R2$ и суммарные характеристики каждого из сопротивлений совместно с диодом $R1^1$ и $R2^2$. Результирующая характеристика измерителя представляет собой сумму двух характеристик — диода и резистора. Чем больше сопротивление резистора $R1$ в индикаторах (рис. 10.2, 10.3) и чем располагается ниже его вольт-амперная характеристика под

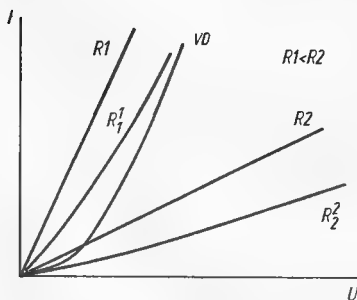


Рис. 10.4. Вольт-амперные характеристики диода и резисторов

вольт-амперной характеристикой диода, тем более линейными станут показания измерителя напряженности поля. И чем меньше сопротивление $R1$ и выше находится его вольт-амперная характеристика над характеристикой диода, тем более нелинейными и приближенными к квадратичным станут показания прибора. Чем больше сопротивление $R1$, тем меньше влияние детекторной секции на контур или на дроссель, что тоже улучшает работу прибора.

При больших сопротивлениях резистора $R1$ измерительный прибор $PA1$ должен быть рассчитан на регистрацию малых токов. Конечно, под руками радиолюбителя не всегда бывает измерительный прибор достаточной чувствительности, например на ток 50 мкА. Наиболее распространенные измерительные стрелочные головки, например индикаторы записи от магнитофонов, различные измерители от промыш-

ленной аппаратуры имеют ток полного отклонения 300...500 мкА. Естественно, с таким индикаторным прибором аperiодический измеритель напряженности поля будет работать только в непосредственной близости от антенны.

В резонансном измерителе напряженности измерительный прибор с большим током отклонения будет шунтировать контур, поэтому подключать такой прибор следует не ко всему контуру, а лишь к его части, например трети-четверти витков от «земли». Чувствительность измерителя напряженности с таким измерительным прибором будет невысока. Для повышения чувствительности таких измерителей используют усилители как по постоянному току, так и по радиочастоте. На практике для местной регистрации работы мощных радиопередающих средств иногда используют малочувствительные измерители напряженности поля.

На рис. 10.5 приведена схема реального измерителя напряженности поля, в табл. 10.1 данные его катушек. Переменный конденсатор желательно использовать емкостью не более 150 пФ для более растянутой шкалы.

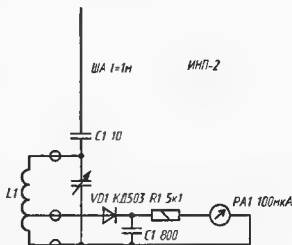


Рис. 10.5. Простой измеритель напряженности поля

Таблица 10.1

ДАННЫЕ КАТУШЕК ДЛЯ ПРОСТОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ

Частота, МГц	Индуктивность L1, мкГн	Диаметр L1, мм	Длина намотки, мм	Число витков	Отвод от «холодного» конца
1,5...3,8	80	20	15	80	20
3,8...6	15	20	20	35	15
6...22	2,6	20	25	15	5
22...50	0,5	20	12	5	3

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИНДИКАТОРА НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ

Простой диодный индикатор напряженности поля (ИНП) с измерительной головкой на 50 мкА имеет чувствительность примерно 0,5 В/м в зависимости от диапазона работы и антенны, используемой совместно с ИНП. Это достаточно большое значение напряженности поля, которое может быть непосредственно около антенны QRP передатчика, на небольшом удалении от антенны при больших мощностях. Некоторые измерения требуют значительного удаления индикатора напряженности поля от антенны, что при небольшой его чувствительности осуществить невозможно. Следует еще раз отметить, что для проведения измерений некорректно использовать совместно с ИНП длинную антенну. Должна быть только короткая антенна — не более 0,05 длины волны, которая не обладает направленностью и дает возможность реально оценить электрическую напряженность поля. Но иногда для проведения радиолокационных измерений для увеличения напряжения на ИНП применяют удлиненные антенны.

Как же реально повысить чувствительность измерительного прибора? Обратившись к справочникам, можно увидеть, что кремниевые диоды имеют точку отсечки,

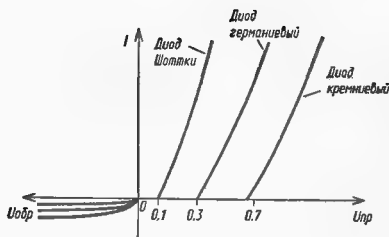


Рис. 10.6. Характеристики различных типов диодов

диодов Шоттки — слабая перегрузочная способность. При использовании германиевых диодов чувствительность ИНП примерно в 2...3 раза выше по отношению кремниевым. Но доступные радиолубителям германиевые диоды хорошо работают на частотах только до 50...100 МГц. На более высоких частотах начинают проявляться их частотные свойства. Поэтому при постройке ИНП, работающих на диапазонах до 100 МГц, вполне можно использовать германиевые диоды. На частотах выше 100 МГц следует использовать диоды Шоттки, или, смирившись с некоторой потерей чувствительности, кремниевые диоды.

Другой, радикальный метод увеличения чувствительности заключается в применении усилителя высокой частоты. Резонансный усилитель, в зависимости от диапазона и числа его каскадов способен обеспечить линейное усиление слабых сигналов до 20 дБ. Конструирование и эксплуатация таких усилителей в радиолубительских условиях затруднительно, поэтому обычно радиолубители ограничиваются применением в ИНП однокаскадных усилителей высокой частоты. Лучшие результаты дает использование полевого транзистора, способного обеспечить реальное усиление примерно, на 6...12 дБ по напряжению.

Другой, наиболее часто применяемый способ повышения чувствительности и линейности показаний индикатора напряженности поля — использование усилителя постоянного тока диода на биполярном транзисторе. Наиболее простая схема такого ИНП с использованием такого усилителя показана на рис. 10.7.

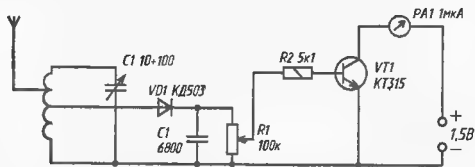


Рис. 10.7. Схема ИНП с усилителем постоянного тока диода

Здесь транзистор используется без смещения и в отсутствие ВЧ сигнала устройство практически не потребляет ток, что позволяет отказаться от выключателя питания. Батарейка может работать здесь в течение нескольких лет вплоть до ее полного саморазряда.

Для дальнейшего повышения чувствительности индикатора напряженности поля и линейности его шкалы желательно использовать усилитель постоянного тока на транзисторе в режиме активного усиления, работающем на линейном участке характеристики. Для исключения протекания постоянного тока через измерительный при-

при которой они начинают проводить на уровне 0,7 В, германиевые — 0,3 В, а диоды с барьером Шоттки — 0,1 В (рис. 10.6). Очевидно, что используя в ИНП вместо кремниевых диодов с барьером Шоттки, можно увеличить чувствительность прибора почти в 10 раз! Диоды Шоттки обладают хорошими высокочастотными свойствами; при их использовании можно создать ИНП, работающий на частотах до 1 ГГц. Основной недостаток диодов

бор используют мостовую схему включения измерительного прибора. Простая схема ИНП, в которой используется мостовое включение измерительного прибора совместно с транзистором, работающим в активном режиме усиления, показана на рис. 10.8. Более сложная, но и более эффективная схема приведена на рис. 10.9. В этой схеме для согласования относительно низкого входного сопротивления усилителя постоянного тока с высоким резонансным сопротивлением входного контура используется полевой транзистор. Это значительно повышает входное сопротивление детектора и дает возможность подключить диод непосредственно к контурной катушке, следовательно более полно использовать резонансные возможности контура, что тоже повышает чувствительность ИНП.

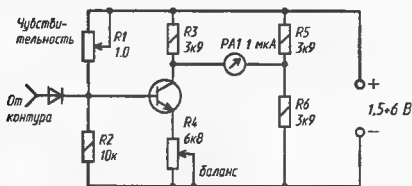


Рис. 10.8. Схема простого ИНП с мостовым включением измерительного прибора

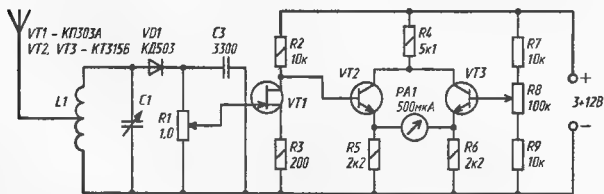


Рис. 10.9. Эффективная схема ИНП с мостовым включением измерительного прибора

Для компенсации теплового тока в схеме на рис. 10.9 желательно использовать подобранный пару биполярных транзисторов, имеющих идентичные параметры, причем транзисторы следует применять с возможно большим коэффициентом усиления. Очень хорошие результаты дает использование в усилителях постоянного тока интегральных операционных усилителей, а их основной недостаток в том, что требуется сравнительно высокое по сравнению с транзисторами напряжение, и желательно двухполярное питание. Правда, некоторые типы современных интегральных операционных усилителей работают при однополярном напряжении питания от 2 В, но они еще не нашли широкого применения в радиолюбительских схемах ИНП.

Использование индикатора напряженности поля обычно предполагает его большую мобильность, а это потребует более портативных источников питания, что ограничит возможности операционных усилителей, имеющих высокое двухполярное пита-

вание

В любом случае в качестве высокочувствительного индикатора напряженности поля можно использовать радиоприемник с индикатором выхода и аттенуатором. Однако только в очень немногих профессиональных и любительских приемниках используются там аттенуаторы и S-метры калиброваны в действительных значениях

децибел. В большинстве радиоприемников шкалы градуированы в условных, характерных для данного аппарата единицах, в чем легко убедиться, проверив показания S-метра приемника с помощью стандартного генератора сигнала с калиброванным аттенуатором. Но это все же не мешает использовать приемники с калиброванным аттенуатором и S-метром для измерения напряженности поля.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ (ИНП)

Какие же реальные возможности открывает ИНП для радиолюбителя? Конечно, самое важное его предназначение — постройка диаграммы направленности антенны. Именно здесь необходим ИНП с калиброванной линейной или логарифмической шкалой. Для постройки диаграммы направленности антенны логарифмическая шкала даже более удобна, чем линейная, так как диаграмма направленности, построенная в логарифмическом масштабе, выглядит более наглядно, чем диаграмма направленности, построенная в линейном масштабе.

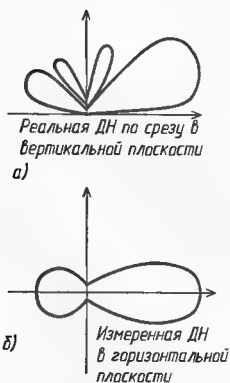


Рис. 10.10. Диаграмма направленности директорной антенны

При измерении диаграмма направленности антенны следует помнить, что есть ближняя и дальняя зоны излучения антенны. Ближняя зона находится на расстоянии от антенны в пределах нескольких длин волн или нескольких линейных размеров антенны, если размеры последней превышают длины ее рабочих частот. Упрощенно можно считать, что дальняя зона антенны коротких волн находится за пределами расстояния квадрата длины волны работы антенны или расстояния квадрата линейных размеров антенны, если длина антенны превышает длину волны, на которой антенна работает.

В ближней зоне измерение напряженности поля не даст истинной диаграммы направленности антенны, так как в ближней зоне антенны существует так называемое стационарное поле, которое с удалением от антенны переходит в свободно распространяющееся электромагнитное поле.

В дальней зоне, в которой влиянием посторонних предметов на излучение передающей антенны можно пренебречь и где пройдя некоторое расстояние через эфир, ЭМВ как бы стабилизируется, приходя к своему нормальному рас-

пределению, можно качественно измерить диаграмму направленности антенны. В большинстве случаев радиолюбитель не имеет возможности провести измерение по всему вертикальному срезу плоскости излучения от 0 до 90 градусов, а проводит измерение на горизонтальной плоскости среза примерно под углом 2...5 градусов к горизонту. Естественно, что при этом фиксируются лишь главные лепестки диаграммы направленности антенны и совершенно не фиксируются более высокие лепестки. Однако для реальной оценки работы антенны это вполне допустимо. На рис. 10.10 показана диаграмма направленности директорной антенны, на рис. 10.10а она представлена в вертикальной плоскости, а на рис. 10.10б — в горизонтальной.

Измерить диаграмму направленности в радиолюбительских условиях реально возможно лишь для УКВ антенн, расположенных не в условиях конкретной крыши, а на каком-то испытательном полигоне. За последние годы этот трудоемкий, но интересный процесс заменили компьютерные программы, моделирующие работу антенн.

Полезен ИНП при сравнительной оценке двух антенн, работающих на одном диапазоне. Очень любопытные результаты можно получить при испытаниях различных антенн, даже нерезонансных для данного диапазона. Естественно, использование нерезонансных антенн предполагает наличие согласующего устройства. При проведении таких измерений иногда удается отказаться от неэффективных для данного диапазона антенн. При расположении антенн в разных точках можно найти наиболее эффективное место расположения антенны по наименьшему влиянию на нее посторонних предметов. Измерять напряженность поля в этом случае также следует в дальней зоне. Естественно, такие измерения, особенно связанные с переносом антенн, требуют больших затрат усилий и времени, но получаемый при этом результат окупает эти затраты. Полезен ИНП и при настройке системы согласующее устройство—фидер—антенна. Измеритель напряженности поля в этом эффективен даже при измерении напряженности поля в ближней зоне настраиваемой антенны. Действительно, иногда при использовании согласующего устройства совместно с антенной, но при неправильной его настройке, можно получить КСВ близкий к единице, а излучение антенны — близкое к нулю. Здесь только ИНП даст истинную картину излучения.

С помощью ИНП можно также найти место наименьшего уровня электромагнитного поля в квартире для установки телевизора (чтобы избежать искажений телевидения) или на крыше для установки приемной TV антенны относительно передающей.

Полезно иметь ИНП на рабочем месте. Его антенна должна быть расположена на крыше или в другом месте, исключающем влияние на нее оператора. Постоянство показаний ИНП дает уверенность в том, что антенное хозяйство в порядке. И наоборот, резкое отличие показаний от прежних позволит установить аварийную ситуацию. Для таких контрольных измерений вполне подойдут простейшие, нерезонансные малочувствительные ИНП, хотя конечно и использование сложных промышленных измерителей напряженности поля для этих целей не исключается.

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Наиболее распространены измерители электрической составляющей электромагнитного поля, которые и были описаны выше. Действительно, они наиболее простые по конструкции и дают наглядное представление о работе антенны. Но для получения более полной информации об эффективности работы антенной системы необходимо еще иметь результаты измерений напряженности магнитного поля.

Магнитная составляющая поля, по сути являющаяся отражением протекающего тока, обычно используется для получения информации о работе фидерного тракта. Наиболее часто необходимы измерения тока в проводниках открытой линии, питающей антенну (рис. 10.11). Равенство токов, протекающих в разных проводниках открытой линии, свидетельствует о симметричности антенны. Если токи существенно отличаются друг от друга, то антенна несимметрична, и для эффективной ее работы эту несимметричность необходимо устранить либо физическим изменением подвеса проводников антенны и линии питания, либо используя эффективное симметрирующе-согласующее устройство на стороне передатчика (и если позволяет возможность, то и на стороне антенны). Но эпоха применения открытых линий и гармониковых антенн уже уходит в прошлое. Сейчас радиолюбителями используются в основном антенны с кабельным питанием, хотя на профессиональных передающих центрах при работе одной широкополосной антенны (типа диполя Надененко) или какой-либо системы антенн на разных частотах используются открытые линии, часто самодельные, собранные из подручных материалов.

При измерении параметров, определяющих рассимметрирование в проводниках открытой линии, измеряется ток в каждом проводнике открытой линии. Если измерить ток вокруг двух проводников линии, то при симметрии антенно-фидерной сис-

темы и самой антенны этот ток будет весьма и весьма мал — не более одной десятой, или даже одной двадцатой части от величины тока, протекающего в отдельно взятом проводнике линии. В основном этот ток будет результатом погрешностей и некорректности измерения.

Закрытая питающая система (коаксиальный кабель) хотя и не позволяет провести подобные измерения, но зато позволяет определить рассимметрирование антенны (рис. 10.12). Наличие значительного тока, протекающего по внешней оболочке кабеля, а также наличие выраженных его максимумов и минимумов говорит о том, что антенна рассимметрирована. Кабельные антенны не так-то просто симметрировать; наиболее простой способ — выбор правильного подвеса полотна антенны относительно земли и других проводящих предметов и расположение коаксиального кабеля относительно антенны.

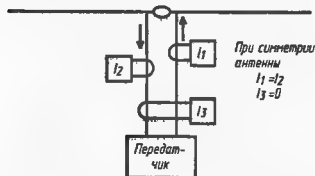


Рис. 10.11. Определение токов в проводниках открытой линии

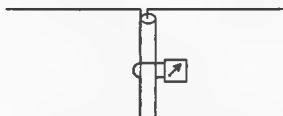


Рис. 10.12. Определение рассимметрирования антенны с кабельным питанием

Очень полезно проверить распределение токов в земляной системе антенны. Если на Вашей станции используется вертикальная антенна с противовесами, то можно проверить распределение токов в противовесах. Ток должен быть минимален на конце противовеса и максимален около его начала. Если максимум тока в противовесе смещен от основания антенны, то это говорит либо о неправильном местоположении противовеса, либо о неправильном выборе его длины. Можно провести еще один очень показательный опыт. Измерить ток лишь в одном противовесе, подключенном к антенне. Наверняка он будет высоким — почти сравнимым с током, протекающим в самой антенне, и его распределение будет вероятнее всего не оптимально, т. е. максимум будет смещен от основания противовеса. Но если к антенне подключить несколько противовесов, то распределение тока в них будет соответствовать рис. 10.13, значительно уменьшится и значение токов, протекающих в противовесах. Практически это говорит о том, что чем больше противовесов подключено к антенне, тем они

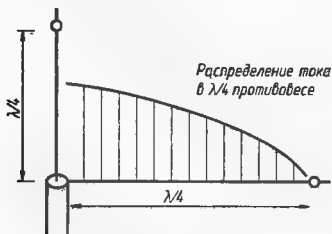


Рис. 10.13. Распределение тока в четвертьволновом противовесе антенны

могут быть тоньше — ведь значение токов в них падает с ростом числа противовесов. И тем менее строго надо подходить к выбору места их расположения и к их длине. Параметры антенны с ростом числа противовесов будут улучшаться.

Но не только значение тока в противовесах вертикальных антенн можно контролировать измерителем напряженности магнитного поля. Можно, да и в общем случае необходимо проверить (если это конечно возможно) распределение магнитного поля (следовательно,

высокочастотных токов) в заземляющей системе передатчика, особенно если он работает на несимметричные антенны, однопроводные антенны типа LW. При работе на несимметричную антенну с непосредственным питанием (рис. 10.14) земляную систему радиостанции можно разбить на три части. Первая — это сеть питания. С ней передатчик связан через емкости трансформатора питания, и, конечно, какой-то ВЧ ток при передаче протекает через сеть. Затем — сама система заземления, если таковая имеется на радиостанции. Это может быть система противовесов, система «искусственной земли». И, конечно, система коммуникаций — водопровода и отопления, если она есть. В этом случае передатчик обычно связан с ней. Измерением токов необходимо определить, по какой из «земель» происходит максимальное протекание ВЧ токов и по возможности исключить или уменьшить токи ВЧ по системе сети питания и по системе коммуникаций, так как это может стать причиной помех для радиоаппаратуры, находящейся далеко от радиостанции. Систему «земли» по сети можно легко отделить от корпуса радиостанции, включив ВЧ дроссели в сеть питания радиостанции и применив развязывающие ВЧ фильтры. Все это неоднократно было описано в литературе. Наиболее сложно исключить ВЧ токи в батареях отопления, водопровода, если они там появились. Даже когда батарея отопления отсоединена от передатчика, в ней часто протекают значительные ВЧ токи, обусловленные наводками антенны на эту систему, и даже подключение ее к передатчику не сильно изменит их величину. Но, следует заметить, что такие токи наводок в основном не страшны, если токи, протекающие в системе «искусственной земли» передатчика, превышают их хотя бы в 5 раз. Этого и следует добиваться, настраивая систему «земли».

Используя любое известное устройство типа «искусственная земля» добиваются максимального протекания высокочастотных токов через это устройство.

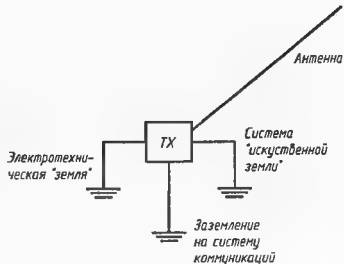


Рис. 10.14. «Земля» радиостанции

ПРАКТИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ ИНДИКАТОРОВ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Практическая реализация измерителя напряженности магнитного поля гораздо сложнее реализации измерителя напряженности электрической составляющей. Этим обусловлено редкое использование измерителя напряженности магнитного поля в радиолюбительской практике. Понятно, что для корректного измерения необходимо исключить влияние электрической составляющей на показания прибора. Это достигается как электрическим экранированием, так и использованием датчиков магнитного поля, не реагирующих на электрическую составляющую. Так же, как и для измерителей электрической составляющей, измеритель магнитной составляющей может быть как резонансного, так и аperiодического типа. Рассмотрим конструкцию аperiодического измерителя напряженности магнитного поля.

Аperiодический измеритель магнитного поля или, что эквивалентно, тока ВЧ, представляет собой виток провода, нагруженный на детектор (рис. 10.15). Эта схема эквивалентна трансформатору, где первичной обмоткой является проводник с изменяемым током, а вторичной — обмотка с датчиком. Конечно, на практике измери-

тели тока такой конструкции обычно не используются. Это связано с тем, что одного витка для измерения тока обычно мало, также необходима жесткая фиксация измерительной обмотки относительно проводника, в котором измеряется ток, иначе будет плавание показаний измерительного прибора. Поэтому вторичная обмотка обычно содержит 10...30 витков провода, используются элементы фиксации измеряемого проводника относительно катушки. Желательно использовать ферритовый сердечник. В этом случае чувствительность измерителя магнитного поля увеличится в несколько раз, заметно снизится его способность реагирования на электрическую составляющую. С учетом изложенного реальный трансформатор измерителя ВЧ тока выглядит как показано на рис. 10.16.

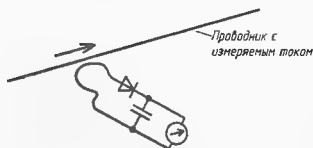


Рис. 10.15. Аперидический измеритель магнитного поля

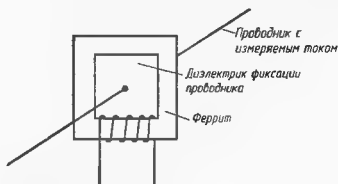


Рис. 10.16. Трансформатор измерителя ВЧ тока

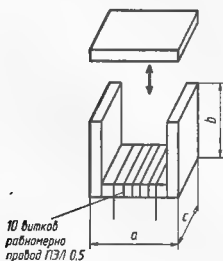


Рис. 10.17. Конструкция индикатора магнитного поля

Для практических целей желательно иметь измеритель напряженности магнитного поля, который способен измерить ток, проходящий как по тонкому проводнику (проводник антенны, противовесы, провод телефонной линии), так и по толстому. Это может быть коаксиальный кабель (измерение паразитных токов по его внешней оплетке), провода питания сети, система заземления. В некоторых случаях необходим измеритель, которым можно измерить ток, проходящий по поверхности труб — например, ток заземления, протекающий по трубам системы отопления, токи наводок, протекающие по металлическим мачтам антенн, по близко расположенным различным металлическим мачтам. Такие измерения проводят не часто, но иногда в них бывает не-

обходимость для нахождения нежелательных резонирующих элементов в конструкции мачт антенн. Такой универсальный прибор можно сделать, меняя при каждом измерении диэлектрическую вставку. Но, как показывает практика, чем меньше диаметр измеряемого проводника, тем меньше чувствительность такого прибора. Наиболее рационально выполнить три отдельных индикатора тока для различных наиболее часто измеряемых проводников, как показано на рис. 10.17. Схема индикатора показана на рис. 10.18

Конструктивно ИНП представляет собой три отдельно выполненных трансформатора тока совместно с диодной секцией, к которой подключается выносной микроамперметр. Схема ИНП аналогична для всех трех конструкций. Она представляет собой обмотку, намотанную на ферритовом сердечнике, нагруженную на антирезонансный резистор $R1$ и детектор $VD1C1$. К выносному измерительному прибору индикатор подключается через ВЧ дроссели — $L2$ и $L3$. Они необходимы для устра-

нения ВЧ наводок от измерительного прибора на детектор. Надо оговориться, что эти дроссели не устраняют проблему полностью, и лучшим ее решением будет использование отдельного измерительного прибора на 50 мкА совместно с каждым измерителем тока. Если это невозможно, то по крайней мере проводники к внешнему измерительному прибору должны быть как можно короче; они должны быть выполнены витой парой, и измеритель должен располагаться как можно ближе к датчику тока.

Трансформатор ВЧ самодельный. Конструктивно он выполнен из ферритовой пластины проницаемостью 600 и размерами 20×3×115. Пластина разрезана как показано на рис. 10.17 и по размерам соответственно табл. 10.2. Затем трансформатор был склеен клеем «Момент», как показано на рис. 10.17, причем для склейки встык использовались только ровные поверхности пластины. Это очень важно для минимизации потерь. Важный элемент в схеме измерителя тока представляет резистор $R1$. Он шунтирует катушку $L1$, что позволяет осуществить измерение тока практически независимо от частоты, насколько это возможно при данной конструкции прибора. Без этого резистора чувствительность ИНП будет гораздо выше, но в его амплитудно-частотной характеристике возникнет ряд непредсказуемых резонансов, способных исказить результаты измерений даже в пределах одного любительского диапазона. Можно попробовать использовать прибор в ограниченном диапазоне частот без шунтирующего резистора $R1$, и если результаты конкретных испытаний устроят радиолюбителя, использовать ИНП без этого резистора. Сопротивление резистора $R1$ должна быть по крайней мере в 7...10 раз ниже индуктивного сопротивления катушки $L1$ на нижней частоте работы прибора.

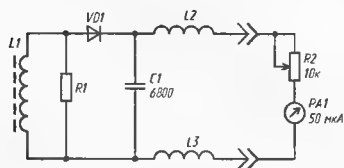


Рис. 10.18. Схема индикатора магнитного поля

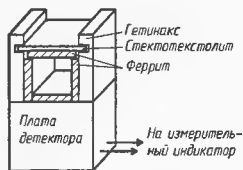


Рис. 10.19. Конструкция измерителя тока

Реально ИНП, конструкция и схема которого показана на рис. 10.17 и 10.18 работает практически линейно до частот 21 МГц. Сопротивления резисторов, удовлетворяющие этим условиям для разной конструкции прибора, приведены в табл. 10.2. Большое значение имеет качество прилегания верхней ферритовой пластины к пластинам трансформатора.

Для постоянства прилегания и повторяемости измерений автор применил конструкцию измерителя тока, показанную на рис. 10.19. Трансформатор тока вклеен между двух толстых гетинаксовых пластин, сверху этих пластин пропилены пазы, куда вдаивалась стеклотекстолитовая пластина, к которой была приклеена ферритовая пластина. Гетинаксовые пластины скреплены стеклотекстолитовыми пластинами, которые выполняли роль ручки измерителя. Между этих пластин помещалась плата детектора ВЧ, внизу находились гнезда подключения микроамперметра.

Таблица 10.2
ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНДИКАТОРА ТОКА

a , мм	20	20	40
b , мм	10	15	40
c , мм	10	15	20
$R1$	360	270	200
n	10	15	15

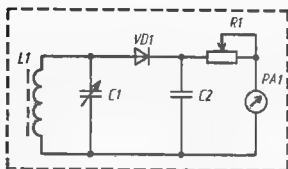


Рис. 10.20. Резонансный измеритель магнитного поля

Для увеличения чувствительности прибора можно использовать резонансные измерители магнитного поля. Схема простого резонансного измерителя магнитного поля показана на рис. 10.20. Она представляет собой контур, настроенный на измеряемый диапазон волн. Конструкция прибора показана на рис. 10.21. Связь катушки с магнитным полем осуществляется через диэлектрическую щель, как показано на рис. 10.21а. Сам контур находится в экранированном корпусе, причем ось его симметрии находится на щели (рис. 10.21б). Корпус ИНП может быть выполнен из фольгированного стеклотекстолита, щель в фольге прорезана резак (при этом нет необходимости разрезать диэлектрик). Данные катушек для этого ИНП могут быть взяты из табл. 10.1.

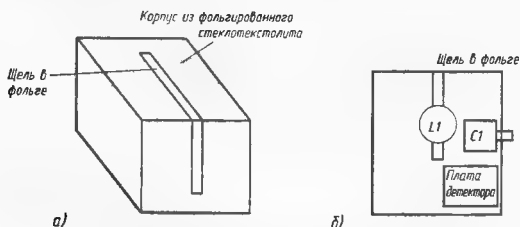


Рис. 10.21. Конструкция резонансного измерителя магнитного поля

Крайне желательно, чтобы измерительный прибор находился внутри экранированного корпуса. Это значительно снизит погрешность измерения. Несмотря на то, что выполнение на каждый любительский диапазон отдельного прибора затруднительно, это может быть оправдано, если радиолюбитель использует ограниченное число диапазонов в своей работе, или если необходимо провести измерения на конкретном диапазоне. Измерения, выполняемые с помощью резонансного измерителя, более удобны, так как нет необходимости иметь приборы на разные диаметры измеряемых проводников. Резонансный измеритель чувствительнее, что может быть полезным при измерении токов, протекающих по большим поверхностям: как металлическим, так и полупроводящим. Для большего повышения чувствительности прибора для диапазонов 1,9 и 3,5 МГц можно использовать катушки, выполненные на феррите.

АНАЛИЗ РАБОТЫ АНТЕННЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ Е И Н

Для полного анализа работы антенны необходимо произвести измерение как электрического, так и магнитного поля создаваемого антенно-фидерной системой

и самой антенной. С помощью измерения электрической составляющей электромагнитной волны можно построить диаграмму направленности антенны, сравнить уровень напряженности, создаваемый этой антенной, с уровнями напряженности других антенн, т. е. грубо оценить эффективность работы различных антенн. Конечно, получить значимые результаты можно только имея какой-то опыт, но он безусловно достижим. В этом случае измеритель напряженности поля может сказать о работе антенн больше, чем простой КСВ-метр. Резкие различия в напряженностях полей, создаваемых одинаковыми антеннами, свидетельствует о неэффективной работе одной из них.

И, конечно, характеристика работы антенны будет неполной, если не будет проведено измерение магнитного поля антенно-фидерного тракта или, проще говоря, не будет измерен ток, протекающий по внешней оплетке кабеля питания антенной системы, по частям антенны, по контуру заземления. Такие измерения мало кто проводит, но это не значит, что они не нужны или неэффективны. Крайне важно определить, поступает ли ВЧ ток в сеть питания, и, следовательно, будет ли она являться источником помех. Также необходимо максимально увеличить ВЧ ток, поступающий в заземляющую систему. Необходимо знать, служит ли система отопления по назначению или является частью антенной системы. Это позволит приступить к решению проблем, связанных с указанными нежелательными явлениями. Например, избавиться от больших токов в системе отопления или полностью исключить проникновение ВЧ токов в сеть питания и телефонную сеть.

Полезен измеритель токов и для настройки противовесов антенны в резонанс. На практике можно увидеть, как настройка в резонанс даже двух противовесов вызывает увеличение тока в них и значительно снижает величину паразитного тока по внешней оболочке коаксиального кабеля. Измерение токов в металлических мачтах, в несущих металлических элементах антенн может выявить нежелательные резонансы, которые могут ухудшить работу антенной системы. Также полезен индикатор магнитного поля при настройке магнитных антенн — момент резонанса очень четко здесь может быть зафиксирован, а ведь в некоторых случаях резонанс антенны может не совпадать с точной настройкой согласующего устройства по минимуму КСВ. В этом случае необходима подстройка элементов связи магнитной антенны с линией питания.

Как видим, областей применения этих приборов достаточно много, и при их использовании радиолюбитель будет находить иные пути их применения для измерения параметров антенн.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ УКВ

Следует отметить, что использование измерителей напряженности составляющих электромагнитного поля в диапазоне УКВ имеет свои особенности. Широко доступные диоды для детектора в диапазоне УКВ работают не столь эффективно, как на диапазоне коротких волн. По этой причине чувствительность ИНП для диапазона УКВ будет существенно ниже, чем в диапазоне КВ. При измерении напряженности электрической составляющей для получения достоверной картины измерения длина антенны, используемой в ИНП, должна составлять не более 0,1 от длины волны работы прибора.

Для диапазона 2 м антенна должна быть длиной не более 20 см, но с такой антенной чувствительность прибора с детектором будет мала, а использовать специальные усилители или преобразование сигналов не всегда оправдано, да и не всегда возможно. Также не всегда реально на УКВ (в диапазоне 2 м) измерить токи, протекающие по элементам антенн, внешней оболочке кабеля, заземляющим системам. Наиболее эффективным здесь является резонансный измеритель, но он требует применения усилителя ВЧ при небольших мощностях (до 5 Вт) первичника. Но в этом

случае не всегда возможно объяснить результаты измерений и определить действия, необходимые для уменьшения проникновения токов ВЧ в заземляющие системы и по кабелю питания. Но, по крайней мере, можно попытаться измерить напряженность обеих составляющих полей, а затем определить пути, которые изменяют их в ту или другую сторону. Это тоже может быть полезным при реальной настройке УКВ антенн.

За счет многократных отражений радиоволн УКВ от различных металлических поверхностей, а также малой длины волны картина напряженности поля антенны будет иметь выраженные максимумы и минимумы. Это может происходить в случае использования в ИНП антенны, обладающей выраженной диаграммой направленности.

ГЛАВА 11

КСВ-МЕТРЫ НА НАПРАВЛЕННЫХ ОТВЕТВИТЕЛЯХ

КСВ-метры этого типа — одни из первых, которые использовали радиолюбители в своей практике. Встроенные в трансивер или отдельный РА, КСВ-метры на направленных ответвителях позволяют постоянно контролировать проходящую мощность и исправность антенно-фидерного тракта.

В радиолюбительской практике используются различные конструкции КСВ-метров (на коаксиальном кабеле, трансформаторе, полосковых линиях) и различные схемы включения ответвителей. В этой главе рассмотрены конструкции КСВ-метров различных типов для использования в любительских КВ и УКВ диапазонах.

КСВ В КАБЕЛЕ

В настоящее время для питания антенн радиолюбители используют в основном коаксиальные кабели волновым сопротивлением 50 и 75 Ом и очень редко двухпроводную линию.

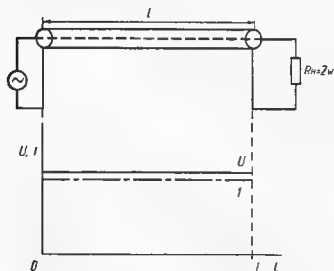


Рис. 11.1 Режим бегущей волны в кабеле

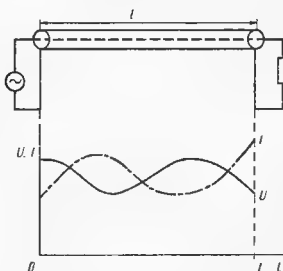


Рис. 11.2 Режим стоячей волны в кабеле

Если к коаксиальному кабелю подключена согласованная нагрузка, т. е. ее активное сопротивление равно волновому сопротивлению коаксиального кабеля и выходное сопротивление передатчика также согласованно (равно волновому сопротивлению коаксиального кабеля), то в коаксиальном кабеле устанавливается *режим бегущей волны*. В этом случае амплитуда тока и напряжения по всей длине идеального

кабеля без потерь не зависит от частоты сигнала, подведенного к кабелю, а зависит только от мощности передатчика (рис. 11.1). К сожалению, такой режим в коаксиальном кабеле бывает далеко не всегда. Часто или сопротивление нагрузки антенны или выходное сопротивление РА не равно волновому сопротивлению кабеля. В этом случае не вся высокочастотная энергия передатчика поглощается в нагрузке, а некоторая ее часть отражается от нагрузки к передатчику. В результате взаимодействия в кабеле падающей и отраженной волн образуется картина так называемых стоячих волн (рис. 11.2), и говорят, что линия работает в режиме стоячей волны.

От параметров реактивных составляющих нагрузки и генератора зависит сдвиг фаз между током и напряжением, а от отношения активной части импеданса нагрузки, генератора и волнового сопротивления кабеля зависит амплитудное распределение тока и напряжения в кабеле. Между максимумами или минимумами тока или напряжения в линии всегда будет расстояние, равное половине длины волны, распространяющейся в кабеле.

ИЗМЕРЕНИЕ КСВ В КАБЕЛЕ

Радиолюбителям важно определить значение КСВ в кабеле, чтобы по его значению судить о работе антенно-фидерного тракта и, в некоторой степени, о сопротивлении нагрузки, и принять меры по согласованию ее входного сопротивления с волновым сопротивлением кабеля. В этой связи необходимо отметить, что показания КСВ-метра на направленных ответвителях, включенного в фидерный тракт, не позволяют достоверно судить о входном сопротивлении антенны. Можно только сделать вывод о режиме работы линии передачи от РА до антенны.

Действительно, приняв ряд некоторых мер, например, подобрав физическую длину кабеля до антенны, применив компенсацию реактивности на выходе РА или согласующие устройства, можно «улучшить» КСВ в антенно-фидерном тракте, но, в то же время, антенна как излучатель электромагнитной энергии будет работать как и раньше. Только добившись, чтобы входное сопротивление антенны было равно волновому сопротивлению кабеля, можно применять меры по согласованию РА с антенно-фидерным трактом. Именно так и поступают при регулировке антенно-фидерных устройств в профессиональной связи. Сначала настраивают антенну по входному сопротивлению, равному волновому сопротивлению линии передачи, а затем настраивают выходной каскад передатчика по минимуму КСВ в линии, т. е. добиваются того, чтобы его выходное сопротивление тоже было равно волновому сопротивлению линии передачи.

Наиболее просто определить КСВ, измерив максимальное и минимальное напряжение или ток в линии, и по приведенной ниже формуле найти КСВ:

$$КСВ = \frac{U_{\text{МАКС}}}{U_{\text{МИН}}} = \frac{I_{\text{МАКС}}}{I_{\text{МИН}}}.$$

К сожалению, этот наиболее простой и очевидный путь для коаксиальных кабелей неприемлем. Для получения достоверных результатов необходимо провести измерения по длине кабеля, равной половине длины волны работы линии передачи. При таких измерениях необходим доступ к центральной жиле кабеля. Подобные коаксиальные линии, допускающие зондирование, громоздки и выпускаются небольшой длины (1...2 м). Если их и можно использовать в УКВ диапазонах, то для КВ диапазонов такая линия непригодна.

В радилюбительской практике наиболее часто КСВ в линии передачи определяют измерением падающей и отраженной волн. Сам принцип измерения падающей и отраженной волн чрезвычайно прост. Если рядом с проводником, вдоль которого

распространяется падающая и отраженная волны, на некотором небольшом расстоянии от него в его электромагнитном поле поместить линию передачи, примерно аналогичную той, в которой происходит передача высокочастотной энергии, то распространяющиеся вдоль кабеля падающая и отраженная волны наведут во вспомогательной линии передачи некоторое напряжение, которое может быть пропорциональным падающей и отраженной волнам. В зависимости от степени согласования линии направленного ответвителя со своими нагрузочными сопротивлениями, близости расположения линии направленного ответвителя к линии передачи и будут зависеть величины напряжений U_1 и U_2 (рис. 11.3) и их пропорциональность падающей и отраженной волнам.

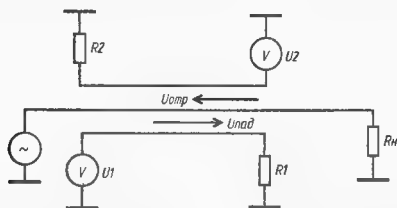


Рис. 11.3. Принцип работы направленных ответвителей

Если КСВ-метр на направленных ответвителях действительно выполнен корректно, то напряжение на его выходе будет пропорционально напряжению падающей и отраженной волн. В этом случае КСВ можно определить по формуле

$$КСВ = \frac{U_{\text{пад}} + U_{\text{отр}}}{U_{\text{пад}} - U_{\text{отр}}}$$

Следует заметить, что даже в случае идеального выполнения конструкции КСВ-метра этот способ измерения КСВ обладает некоторыми неустранимыми погрешностями. Их влияние можно только учитывать, а затем делать поправку результата измерений на погрешности, влияние которых проявляется наиболее сильно, или на суммарную погрешность измерений. Рассмотрим наиболее значительные для данного типа прибора погрешности.

Во-первых — погрешность, вносимая измерительным прибором, которая в зависимости от его класса точности может составлять от 2,5 до 4% от крайнего деления шкалы. Класс точности стрелочного прибора обычно указывается на его шкале, класс точности цифрового прибора — в техническом описании, а в большинстве малогабаритных приборов — на звездной стенке. Таким образом, при обычно используемой для измерения КСВ шкале в 100 делений и при погрешности прибора 4% показания измеренного значения физической величины могут отличаться от реального ее значения на четыре деления шкалы измерительного прибора. Если при измерении падающей волны (когда значения показаний прибора обычно выбирают равным 100) это не важно, то при измерении отраженной волны (а ее значение при КСВ 1,5...3 колеблется в пределах от 20 до 50 делений шкалы) может привести к искажениям результатов при вычислении КСВ.

Другой причиной погрешности является затухание высокочастотной энергии в кабеле. Измерение КСВ радиолюбители обычно производят непосредственно около передатчика, в результате чего в цепь измерения КСВ-метра оказывается включенным коаксиальный кабель от передатчика до антенны. В результате этого отражен-

ная волна претерпевает двойное затухание. Сначала, будучи падающей, она претерпевает затухание в кабеле, а затем то же самое происходит и с отраженной волной, при ее распространении от нагрузки к передатчику. В результате отраженная волна имеет меньшую амплитуду, чем если бы передатчик с антенной связывал идеальный кабель без потерь. С затуханием в кабеле приходится считаться при измерении КСВ на частотах выше 21 МГц.

Существует еще *погрешность измерения из-за отклонения реального волнового сопротивления кабеля* от его указанного в технических условиях значения. Для добротных импортных и отечественных кабелей это отклонение невелико и составляет не более 4%. Для низкокачественных отечественных телевизионных коаксиальных кабелей и старых кабелей, возраст которых превышает 10 лет, оно возрастает до 10...15%.

Еще одна причина погрешности — выпрямительные диоды, обеспечивающие измерение уровня высокочастотного напряжения на нагрузках направленных ответвителей. Даже при полностью идентичных характеристиках диодов, используемых для измерения прямой и отраженной волн, характеристики диода в области малых токов нелинейны, что приводит к занижению показаний при измерении отраженной волны и, следовательно, к кажущемуся улучшению значения КСВ. В гл. 10 описаны особенности применения высокочастотных диодов для измерителей напряженности электромагнитного поля; многие выводы верны и при использовании высокочастотных диодов в КСВ-метрах.

При питании *симметричных антенн несимметричным кабелем* без использования симметрирующих устройств может произойти *рассимметрирование антенны*, которое физически будет выражено в протекании некоторого тока по внешней поверхности кабеля. Этот эффект регистрируется КСВ-метром как увеличение КСВ в кабеле.

Несмотря на весь перечень погрешностей, которые могут присутствовать в КСВ-метрах на направленных ответвлениях, приборы этого типа во многих случаях позволяют просто и точно определить КСВ антенной системы. КСВ-метры часто встраивают в трансиверы, РА, согласующие устройства и с их помощью оперативно контролируют состояние используемых антенн.

Следует помнить, что при измерении больших значений КСВ (больше 5), погрешность измерения на всех КВ-диапазонах мала и составляет не более 20%. К сожалению, при таком значении КСВ эта небольшая погрешность не играет существенной роли. Наоборот, чем лучше КСВ в кабеле, и выше чистоты, на которых он измерен, тем выше погрешность измерения. Даже при благоприятных обстоятельствах, при измерении КСВ в пределах 1,5 погрешность составляет не менее 30...40%, а при неблагоприятных обстоятельствах указанные выше погрешности могут достигать и 100%.

Крайне желательно осуществлять контроль показаний КСВ-метра, подключая вместо антенны на конце реального кабеля ряд известных активных нагрузок и определяя при этом КСВ в кабеле. Это желательно проделать на разных частотах работы антенной системы. Сравнив измеренное значение КСВ с рассчитанным теоретически, можно судить о погрешностях измерения при использовании реальных приборов и коаксиального кабеля, что позволит делать поправки на погрешность при реальных измерениях и контроле антенн при постоянной работе с ними.

КСВ-МЕТРЫ НА КОАКСИАЛЬНОМ КАБЕЛЕ

Для достоверной работы КСВ-метра необходимо тщательное выполнение направленных ответвителей. Небрежный подход к этому ведет к увеличению погрешности измерений прибора. Наиболее оптимально выполнить конструкцию КСВ-метра с направленным ответвителем на коаксиальном кабеле можно согласно методике, предложенной в [1]. Конструкция и схема этого прибора показаны на рис. 11.4.

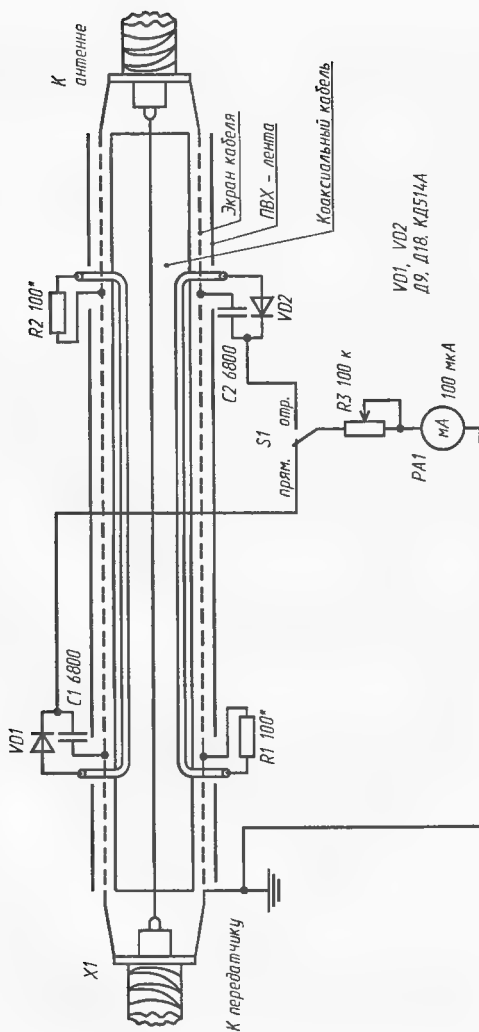


Рис.1.1.4. КСВ-метр на направленных ответвителях

Для его изготовления берут толстый коаксиальный кабель с наружным диаметром свыше 12 мм. Снимают пластиковую защитную изоляцию и чулком снимают оплетку. На диэлектрическом противополюжном сторонке кабеля острым ножом или бритвой делают две бороздки шириной и глубиной чуть больше диаметра провода, используемого в направленных ответвителях. Можно использовать практически любой провод в качественной изоляции. Это может быть как высококачественный провод во фторопластовой изоляции, так и обычный провод типа ПЭЛШО или ПЭЛ, подойдет даже одиночный провод в пластиковой изоляции от телефонных пар. В [1] рекомендуется использовать проводник длиной не менее 25 см, но уже при длине проводника направленного ответвителя 15 см можно получить достоверные результаты измерений в диапазонах 6...80 м при подводимой мощности к антенне в пределах 10...100 Вт. Особое внимание при изготовлении следует обратить на симметричность каналов закладки проводников и одинаковую длину проводников направленного ответвителя. После закладки провода направленного ответвителя его закрепляют на коаксиальном кабеле с помощью узкой полоски «скотча». Затем на кабель надевают экран, в котором заранее на соответствующей длине проделаны отверстия для вывода проводников направленных ответвителей. После этого ПВХ-изоляцией с небольшим натяжением наматывают экран коаксиального кабеля. После этого в коаксиальном кабеле восстанавливается его первоначальное волновое сопротивление.

Для корректной работы КСВ-метра необходимо подобрать резисторы $R1$ и $R2$, сопротивления которых в идеальном случае должны быть равными волновому сопротивлению установленной в кабель измерительной линии. Ориентировочно сопротивление резисторов $R1$ и $R2$ должно быть в пределах 50...150 Ом в зависимости от используемого провода в направленном ответвителе, причем $R1 = R2$. Для определения номинала сопротивлений КСВ-метром проводят измерения КСВ заранее известных нагрузок при различных значениях этих сопротивлений. Затем сравнивают полученное значение КСВ с рассчитанным теоретически, и по минимальной погрешности измерений выбирают номиналы $R1$ и $R2$.

При конструировании КСВ-метра удобно использовать измерительный прибор со шкалой на 100 мкА. В этом случае получают и достаточную чувствительность КСВ-метра, а при определении значений КСВ вместо расчетов можно пользоваться приведенной здесь градуировочной таблицей (табл. 11.1). При определении КСВ с помощью переменного резистора ограничения чувствительности микроамперметра в режиме измерения падающей волны устанавливают стрелку прибора на конечное значение шкалы — 100 мкА. После этого переключают прибор в режим измерения отраженной волны и с помощью табл. 11.1 определяют значение КСВ. Эта таблица составлена в расчете на идеальную линию передачи. Радиослушатель может составить такую таблицу методом измерения КСВ известных нагрузок на конце его реальной линии передачи, что дает возможность составить таблицу с учетом большинства погрешностей, влияющих на результат измерений.

Таблица 11.1

ЗНАЧЕНИЯ КСВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ОТРАЖЕННОЙ ВОЛНЫ

$U_{\text{отр}}$	0	4,7	9	13	17	20	23	26	29	31	33	43	50	56	60	72	80	100
КСВ	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,5	3	3,5	4	6	9	∞

В зависимости от мощности передатчика и чувствительности измерительного прибора можно использовать как кремниевые, так и германиевые диоды. Хорошо работают германиевые диоды типов Д2, Д9, Д18, кремниевые типов КД503, КД522. Хорошо подходят для КСВ-метров диоды с барьером Шоттки типа КД514А. Следует обратить внимание как соединены с оплеткой кабеля резисторы и конденсаторы схемы прибора. Для корректного измерения КСВ в кабеле с корпусом передатчика

должно быть соединено лишь одно гнездо, желательно входное $X1$. Это подразумевает, что в случае использования прибора как самостоятельной конструкции, гнездо $X2$ желательно соединять с корпусом прибора только через экран коаксиального кабеля и «землю» гнезда $X1$. Если это условие не будет выполнено, то увеличится погрешность работы прибора. Те же требования предъявляются к конструкции КСВ-метра при размещении его в трансивере или РА.

Недостаток этого КСВ-метра связан с тем, что для его настройки необходим подбор сопротивлений $R1$ и $R2$, которые к тому же должны быть равными друг другу. Можно выполнить КСВ-метр по несколько упрощенной схеме, смилившись с большой погрешностью его показаний. Эта схема приведена на рис. 11.5 и получила широкое распространение среди радиолюбителей в КСВ-метрах их трансиверов после ее публикации в [2].

Для изготовления направленного ответвителя следует пользоваться методикой, описанной выше. Длины $L1$ и $L2$ должны быть равны друг другу. Желательно, чтобы длина $L1$ и $L2$ была не менее 10 см. При наладке этого КСВ-метра с помощью подстроечного резистора $R1$ добиваются наименьшей погрешности измерений КСВ при подключении разных нагрузок и при проведении измерений на разных частотах. Поскольку здесь проводится лишь одна регулировка, то наладка этого КСВ-метра значительно проще показанного на рис. 11.4.

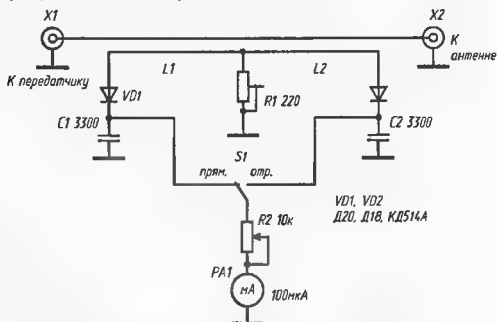


Рис. 11.5. Схем простого КСВ-метра на коаксиальном кабеле

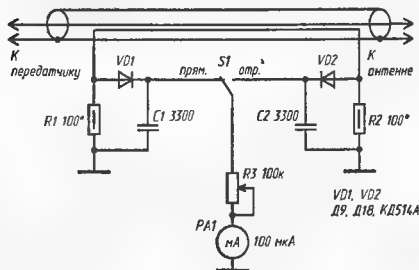


Рис. 11.6. Упрощенная схема КСВ-метра на коаксиальном кабеле

При конструировании КСВ-метра с одним нагрузочным резистором следует руководствоваться рекомендациями, приведенными выше. Гнездо $X1$ заземляется с корпусом передатчика, $X2$ соединяется с корпусом передатчика только через экран коаксиального кабеля $R1$. Конденсаторы $C1$, $C2$ закорочены на оплетку кабеля в месте выхода провода направленного ответвителя из оплетки коаксиального кабеля. Желательно использовать измерительный прибор с чувствительностью 100 мкА. В этом случае для определения КСВ удобно пользоваться табл. 11.1.

При измерениях КСВ при мощностях передатчика свыше 100 Вт и на УКВ, где уровень напряжения, наведенного на направленный ответвитель, значительно больше, чем на КВ, можно пользоваться схемой на рис. 11.6. Здесь используется лишь один проводник, проходящий под оплеткой кабеля, что упрощает изготовление направленного ответвителя. Для настройки прибора проводят парный подбор $R1$ и $R2$ по минимуму погрешностей показаний прибора при измерении различных значений КСВ. Прибор калибруют по минимуму погрешности, возможности его работы во всей полосе частот в случае изготовления широкополосных КСВ-метров. Если КСВ-метр используется на одном диапазоне КВ или УКВ, то калибровку проводят на том диапазоне, где он будет использоваться.

КСВ-МЕТРЫ С ТРАНСФОРМАТОРОМ ТОКА

КСВ-метры с направленными ответвителями на линиях связи, описанные выше, обеспечивают хорошую точность измерения, повторяемость и относительную простоту настройки. Но они имеют два существенных недостатка: относительно большие линейные размеры и невысокую чувствительность, которая к тому же зависит от частоты проходящего сигнала. Именно поэтому среди радиолюбителей распространились схемы КСВ-метров с аналогом направленного ответвителя на трансформаторе тока.

Достоинством КСВ-метров с трансформатором тока является то, что они могут работать в любом коаксиальном тракте — 50 или 75 Ом. При оптимальной конструкции и наладке этот КСВ-метр практически независим от частоты; им можно пользоваться при подводимой мощности к антенне от 5 Вт на диапазоне 160 м. Эти КСВ-метры достаточно малогабаритны и могут быть использованы в портативных транзисторных ОРР-трансиверах. Точность измерения КСВ не намного хуже точности измерения с помощью КСВ-метров с ответвителями на линиях связи.

Классическая схема КСВ-метра с трансформатором тока показана на рис. 11.7. Как видно из этого рисунка, электрическая схема КСВ-метра мало отличается от аналогичной схемы на ответвителях на линиях связи. Но отличаются принципы их работы. Вследствие того, что ферритовое кольцо не обеспечивает равномерной передачи высокочастотного напряжения от линии передачи в обмотку ферритового кольца, для корректной работы КСВ-метра необходимы балансировочные элементы, которые обычно выполняются на конденсаторах. На рис. 11.7 это $C1$, $C3$ и $C2$, $C4$. Наличие подстроечных конденсаторов является одним из недостатков этого КСВ-метра.

Трансформатор $T1$ обычно выполняется на ферритовом кольце с проницаемостью от 20 до 100. Размеры кольца не критичны, его внутренний диаметр может быть 3 мм и более. Физические размеры кольца ограничиваются только мощностью, проходящей через КСВ-метр. При небольших мощностях (до 30 Вт) внутренний диаметр кольца может быть в пределах 3...5 мм, при мощностях от 20 до 100 Вт — в пределах 6...12 мм. При больших уровнях проходящей мощности диаметр кольца определяется диаметром кабеля, на который оно надето. Вторичная обмотка трансформатора содержит обычно около двадцати витков провода типа ПЭЛ-0,1 и равномерно распределена по ферритовому кольцу. Для повышения чувствительности и при использовании колец небольшого диаметра вторичная обмотка может содержать немного более 30 витков. Высокочастотные ферритовые кольца обеспечивают корректную

работу КСВ-метра во всех любительских КВ диапазонах от 10 до 160 м. При использовании колец проницаемостью 400...600 работа КСВ-метра в диапазонах 10...20 м уже не будет корректной из-за увеличения потерь в феррите. При больших мощностях, проходящих через КСВ-метр (свыше 100 Вт), на этих диапазонах может даже произойти разрушение кольца из-за его перегрева. Но на низкочастотных диапазонах вполне можно использовать феррит проницаемостью 400...600.

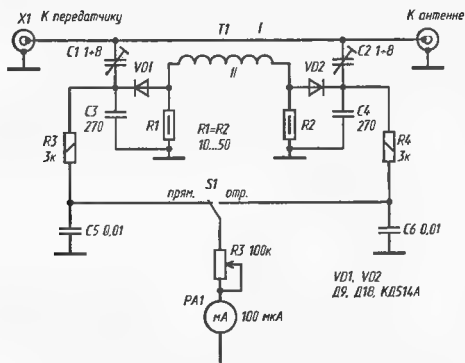


Рис.11.7. Схема КСВ-метра с трансформатором тока

Сопротивления резисторов $R1$ и $R2$ должны быть равны друг другу. Чем меньше их сопротивление, тем более независим от частоты КСВ-метр, но и тем меньшей чувствительностью он обладает. При увеличении сопротивления резисторов $R1$ и $R2$ увеличивается чувствительность прибора, но возрастают неравномерности в его АЧХ. Для широкополосных КСВ-метров сопротивления $R1$ и $R2$ должны быть в пределах 18...22 Ом при мощностях, подводимых к КСВ-метру, свыше 10 Вт. При мощностях свыше 100 Вт сопротивление резисторов $R1$ и $R2$ может быть меньше (5, 1 Ом). В этом случае получаем практически линейную АЧХ КСВ-метра при его работе в диапазонах 10...160 м. Если КСВ-метр работает лишь в одном-двух любительских КВ диапазонах и необходимо обеспечить высокую чувствительность прибора, например, при его установке в QRP-трансивер, то сопротивление резисторов $R1$ и $R2$ можно увеличить до 50...150 Ом, лишь бы сохранилась возможность балансировки КСВ-метра.

Первичная обмотка может быть выполнена несколькими способами. Самый простейший и распространенный — это проводник, продетый через ферритовое кольцо, как показано на рис. 11.8. Это может быть просто провод, идущий в трансивере от антенного гнезда к П-контуру, так и коаксиальный кабель со снятой оплеткой. Для того, чтобы кольцо не «болталось» по проводнику, его закрепляют с помощью клея или изолентой. Расстояние между точками подключения конденсаторов $C1$ и $C2$ обычно составляет 3...5 см.

При выполнении КСВ-метра внутри трансивера или РА (особенно ламповых) следует учитывать, что в них может быть температура выше 60 °С, что со временем может привести в негодность некоторые клеи. При закреплении кольца парфенином он может потечь.

Если КСВ-метр выполнен в виде отдельного прибора, то виток связи часто выполняют согласно рис. 11.9. В этом случае гнездо подключения передатчика и антенны

находятся обычно на расстоянии 4...6 см. Они соединяются отрезком коаксиального кабеля с волновым сопротивлением, равным волновому сопротивлению кабеля, используемому в антенно-фидерном тракте. В центре этого кабеля надето кольцо трансформатора тока. Оплетка кабеля соединяется с корпусом лишь на гнезде подключения КСВ-метра к передатчику. Корпус КСВ-метра может быть металлическим, а гнездо X2 изолировано от корпуса любыми известными методами.

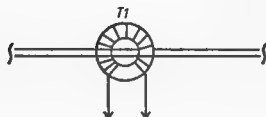


Рис. 11.8. Конструкция трансформатора тока

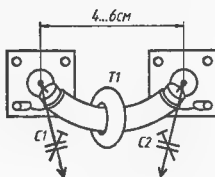


Рис. 11.9. Конструкция КСВ-метра с трансформатором тока

Оба эти включения практически равнозначны для работы КСВ-метра, и в зависимости от желания радиолюбителя может использоваться то или иное включение первичной обмотки. В КСВ-метре с трансформатором тока необходимо использовать предварительно отобранные по параметрам идентичные диоды. Это могут быть германиевые диоды типов Д18, Д20. Можно использовать парные диоды Шоттки, например типа КД514А. Эти диоды можно приобрести в пакетах, где упакованы два или четыре идентичных диода, что удобно для использования их в КСВ-метре и исключает излишние материальные затраты на покупку дорогостоящих диодов для последующего выбора из них идентичной пары. В этом случае чувствительность прибора будет выше, чем при использовании германиевых диодов.

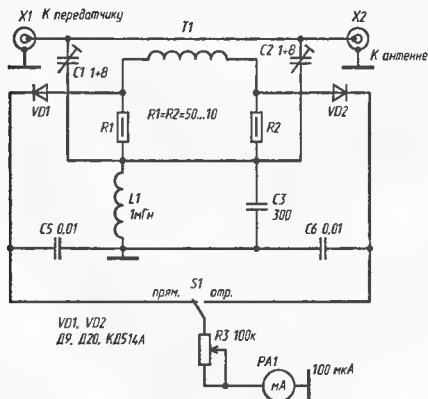


Рис. 11.10. Схема КСВ-метра с одним балластным конденсатором

Настройка этого КСВ-метра несложна. Его подключают к передатчику, вместо антенны включают эквивалент сопротивления, соответствующий волновому сопротивлению кабеля. Эквивалент следует подключать через кабель длиной не менее 0,1 от длины волны низшего диапазона работы КСВ-метра. Ставят переключатель *S1* в положение измерения прямой волны, устанавливают стрелку измерительного прибора на конечную отметку. Затем включают КСВ-метр в режим измерения отраженной волны, с помощью переменного конденсатора *C1* добиваются нулевых показаний измерительного прибора *PA1*. Затем меняют местами подключение передатчика и нагрузки, повторяют описанную выше процедуру, но стрелку на ноль устанавливают с помощью конденсатора *C2*. Затем все повторяют сначала до полной установки симметричности прибора. После этого проверяют КСВ-метр при его работе с различными типами нагрузок, обеспечивающими известное значение КСВ. Наладку прибора необходимо производить на средней частоте работы КСВ-метра или на том диапазоне, где наиболее важны правильные показания прибора. Полезно проконтролировать верность показаний КСВ-метра на всех диапазонах его работы. Если настройка по описанной выше методике не дает результатов, то следует поменять местами концы вторичной обмотки, поскольку не всегда можно точно определить фазу взаимного включения первичной и вторичной обмоток относительно друг друга.

Схема, приведенная на рис. 11.7, является наиболее распространенной среди радиолюбителей, и описана во множестве публикаций.

Иногда встречается схема, приведенная на рис. 11.10. Принцип ее работы, конструкция и наладка практически не отличаются от схемы, приведенной на рис. 11.7. При аккуратном выполнении эти схемы одинаково хорошо работают.

Еще одной разновидностью схем КСВ-метров с трансформатором тока является схема с балансом по средней точке. Типичная схема этого прибора приведена на рис. 11.11. В качестве *T1* используется симметричный трансформатор, обычно его наматывают витой парой проводов типа ПЭЛ-0,1. Обмотка содержит 15...25 витков. Принцип работы прибора и его настройка практически не отличаются от КСВ-метров с установкой баланса двумя конденсаторами.

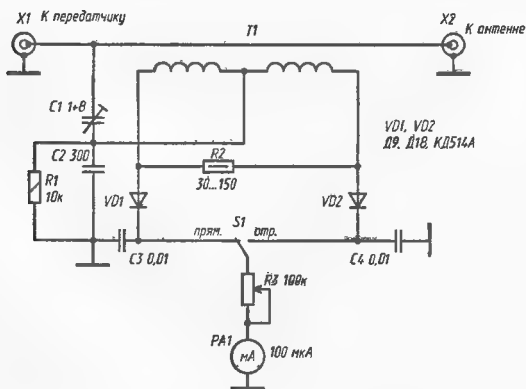


Рис. 11.11. Схема с балансом по средней точке

В схеме на рис. 11.11 резистор $R2$ служит для устранения резонансов трансформатора на частотах работы КСВ-метра и линейаризации его частотной характеристики. Чем меньше его сопротивление, тем более линейно работает КСВ-метр во всем диапазоне частот, но и тем меньше чувствительность КСВ-метра. При мощностях свыше 100 Вт, подводимых к нагрузке, можно использовать резистор сопротивлением 15...20 Ом. При мощностях немного выше 10 Вт используют резистор сопротивлением более 51 Ом. Если КСВ-метр работает при малых мощностях или на одном диапазоне, можно использовать резистор сопротивлением больше 120 Ом.

Иногда применяют трансформатор с одной обмоткой, а среднюю точку получают, используя включение в одиночную обмотку двух одинаковых резисторов, как показано на рис. 11.12. По принципу работы и полученным результатам измерений КСВ схема на рис. 11.12 аналогична приведенной на рис. 11.11, и только от желания радиолюбителя зависит, которую из них он будет использовать в своих практических конструкциях.

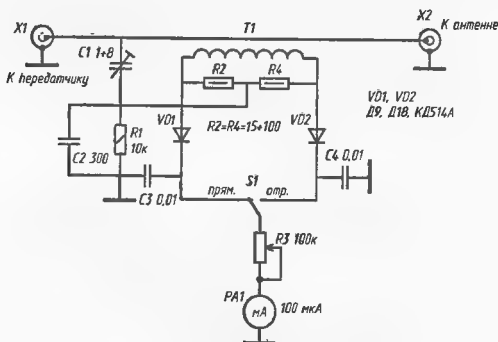


Рис. 11.12. Схема с искусственной средней точкой

Наладка этих КСВ-метров заключается в регулировке баланса по $КСВ = 1$ при подключении к КСВ-метру активной нагрузки сопротивлением, равным волновому сопротивлению коаксиального кабеля, в тракте которого он будет использован. Баланс устанавливают с помощью подстроечного конденсатора $C1$. Регулировка осуществляется в режиме измерения отраженной волны по ее минимуму. Если результат регулировки неудовлетворителен, меняют местами концы включения вторичной обмотки трансформатора.

Погрешность КСВ-метра с одним конденсатором больше погрешности, которую обеспечивает КСВ-метр с двумя балансирующими конденсаторами, но для радиолюбительских целей вполне подойдет любой из них. Используя даже КСВ-метры с погрешностями, с их помощью вполне можно проводить настройку большинства типов антенн.

Следует обратить особое внимание, что высокочастотный трансформатор подвержен наводкам со стороны высокочастотных полей. Наибольший их уровень будет внутри трансивера или усилителя мощности, в которые может быть встроен КСВ-метр. Для устранения этого влияния возможно придется подобрать месторасположения трансформатора, а иногда и провести его экранировку.

Если КСВ-метр выполнен в отдельном от передатчика корпусе, то, как правило, наводок на трансформатор нет, хотя при большом расстоянии между входным и вы-

ходным гнездом или выполнении КСВ-метра в неметаллическом корпусе, они могут возникнуть. Следует придерживаться конструкции КСВ-метра, показанной на рис. 11.9. Как показывает опыт, в КСВ-метрах на трансформаторе с балансом по средней точке более точные измерения получаются, когда трансформатор «сидит» на кабеле с оплеткой. В этом случае присоединение оплетки к корпусу на входном или выходном гнезде влияет на точность измерений, и при наладке такого КСВ-метра следует попробовать оба эти включения и выбрать тот, который в данной конструкции радиолобителя обеспечивает наибольшую точность измерений.

В описанных выше КСВ-метрах желательно использовать измерительный прибор *РА1* с максимальным отклонением стрелки 100 мкА. В этом случае для определения КСВ удобно пользоваться приведенной здесь табл. 11.1.

На основе КСВ-метров с трансформатором тока созданы приборы для автоматического определения КСВ. В них с помощью схемы на компараторе сравниваются уровни падающей и отраженной волн, а результат сравнения, который зависит только от отношения напряжений прямой и отраженной волн, отражается на индикаторе. Такие приборы сильно подвержены высокочастотным наводкам, и конструировать их следует, только имея соответствующий опыт по сборке и наладке обычных КСВ-метров. Следует в связи с этим отметить, что в профессиональной радиопередающей аппаратуре применяют в основном КСВ-метры без электронных элементов, которые уменьшают надежность работы КСВ-метра и вносят свою долю искажений в его показания.

КСВ-МЕТРЫ НА ПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЯХ

В настоящее время среди радиолобителей широкое применение получили КСВ-метры на направленных ответвителях, выполненные полностью на плате из фольгированного материала. Впервые такая конструкция в отечественной радиолобительской литературе была опубликована в [3].

Рассмотрим эту классическую схему. Она показана на рис. 11.13, топология схем приведена на рис. 11.14. КСВ-метр представляет собой линию передачи 1 волновым сопротивлением, равным волновому сопротивлению фидерного тракта. С помощью направленного ответвителя на линиях 2 и 3 отводится часть энергии отраженной и прямой волны для ее индикации. Линии 2 и 3 имеют волновое сопротивление,

равное волновому сопротивлению линии 1. Настройка схемы не отличается от настройки КСВ-метров на направленных ответвителях, выполненных на коаксиальном кабеле, за исключением некоторых особенностей.

Сопротивление резистора *R1* в схеме на рис. 11.13 должно быть равно волновому сопротивлению линии и, следовательно, с достаточной точностью показаний КСВ-метра оно может быть без подстройки — 50 или 75 Ом. Практика показывает, что оно все же требует подбора по причинам, изложенным ниже. Поэтому

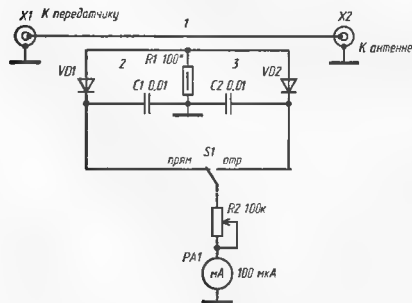


Рис. 11.13. Схема КСВ-метра на полосковых линиях

для КСВ-метра на полосковых линиях желательно использовать подстроечный резистор. В конструкции КСВ-метра, приведенной в [3], места установки $VD1$, $VD2$, $R1$ фиксированы. На практике этого делать не следует. Желательно добиться полной симметрии в работе КСВ-метра. Для этого с помощью регулировки сопротивления резистора $R1$ настраивают КСВ-метр на активную согласованную нагрузку по минимуму отраженной волны. Затем изменяют направление включения КСВ-метра и с помощью подбора в небольших пределах места точек включения $R1$ или $VD1$, $VD2$ или того и другого, добиваются минимума отраженной волны в этом положении КСВ-метра. Еще раз переключают его в обратное направление и продельвают ту же самую процедуру. Обычно за несколько раз удается настроить КСВ-метр до полной симметрии его работы. Рассмотренная схема предназначалась для работы в УКВ-диапазоне 144 или 430 МГц. В зависимости от этого и были определены длины плат КСВ-метра, равные 160 мм для диапазона 144 МГц и 120 мм для диапазона 430 МГц. Конструкция КСВ-метра показана на рис. 11.15. Плата надевается на высокочастотные контакты соединителей, «земля» на плату подается непосредственно от соединителей или с помощью винтов, крепящих соединители к корпусу прибора, или с помощью толстых медных проводников, припаянных к корпусу КСВ-метра и к его плате.

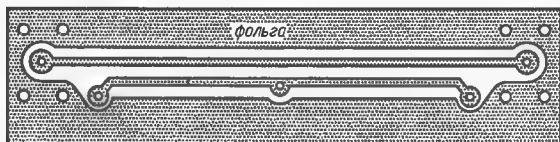


Рис. 11.14. Топология КСВ-метра на полосковых линиях

Как среди радиолюбителей, так и профессионалов уже долгое время идет дискуссия о том, каким должен быть корпус для КСВ-метра, схема которого выполнена на полосковых направленных ответвителях. Одни утверждают, что на точность показаний прибора не влияет как выполнен корпус КСВ-метра: целиком из металла или из непроводящего материала. Другие уверены, что в данных типах КСВ-метров необходимо использовать только непроводящий корпус, а если он выполнен из проводящего материала, то «земля» одного из гнезд должна быть изолирована от «земли» корпуса прибора. Даже среди различных конструкций профессиональных КСВ-метров на полосковых линиях встречаются такие, где одно гнездо изолировано от корпуса прибора и соединено только с платой КСВ-метра.

На наш взгляд для радиолюбительской практики все рассмотренные конструкции корпуса КСВ-метра этого типа обеспечивают примерно одинаковую точность показаний, но в целях упрощения наладки и обеспечения ее симметрии следует придерживаться конструкции, показанной на рис. 11.15.

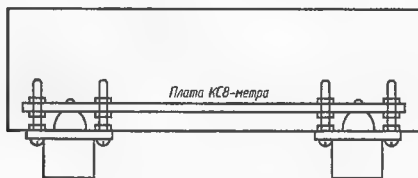


Рис. 11.15. Конструкция КСВ-метра на полосковых линиях

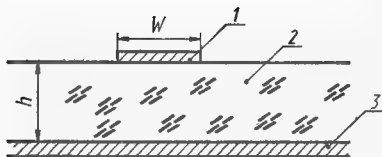


Рис. 11.16. Конструкция полосковой линии

Здесь следует остановиться на другом виде погрешности, возникающей при измерениях КСВ на УКВ при использовании КСВ-метра на полосковых линиях. Для достижения приемлемой точности измерения необходимо, чтобы волновое сопротивление линии 1 было равно волновому сопротивлению фидерного тракта. А как же рассчитать вол-

новое сопротивление полосковой линии? На рис. 11.16 показан срез конструкции полосковой линии передачи 1, выполненной на диэлектрике 2 с проводящим покрытием 3. Исходя из графика, приведенного на рис. 11.17 можно определить волновое сопротивление линии.

Вот здесь и необходимо учитывать возникающие при этом погрешности. Считается, что диэлектрическая проницаемость стеклотекстолита составляет 5. На самом деле (в зависимости от его типа) она может быть от 4 до 6. Реальная диэлектрическая проницаемость указывается на партии стеклотекстолита и не всегда может быть известна радиолюбителю, использующего этот материал. Для стеклотекстолитов, не предназначенных для использования на высоких частотах, а рассчитанных на применение в бытовой аппаратуре — в качестве печатных плат магнитофонов, усилителей и т. п., диэлектрическая проницаемость часто не нормирована, особенно это касается многих марок импортных стеклотекстолитов. Более того, этот фольгированный материал может иметь повышенные потери на высоких частотах из-за использования для его изготовления материалов, не предназначенных для работы на СВЧ. При использовании стеклотекстолита для КСВ-метра толщиной 2...2,5 мм, который наиболее распространен среди радиолюбителей, ширина полосковой линии для обеспечения волнового сопротивления 50...75 Ом получается равной лишь 2...2,5 мм. Наличие связанных линий 2 и 3 понижает волновое сопротивление линии 1. Это приводит к тому, что ее реальная ширина должна быть уже примерно на 30...40%. Выполнить линию одинаковой шириной 1,5...2 мм по всей ее длине возможно лишь фотоспособом. При изготовлении КСВ-метров в радиолюбительских условиях фотоспособ используется редко, что ведет к погрешностям в ширине выполнения линий 1, 2, 3, а это, в свою очередь, ведет к внесению дополнительной величины отраженной волны самим КСВ-метром в тракт фидера антенны.

Иногда для устранения указанных выше погрешностей радиолюбители применяют сложенный вместе стеклотекстолит и склеенный эпоксидной смолой или другим клеем. Это приводит к увеличению ширины полосковой линии и снижению требований к точности ее изготовления, но вносит свои погрешности из-за неплотности прилегания стеклотекстолитовых пластин друг к другу и наличия повышенных потерь на высоких частотах в клее.

Расстояние между линией 1 и линиями 2-3 должно быть в пределах 0,5...1 от ширины линии 1, а расстояние от линии 1 до «земляной» фольги должно быть не

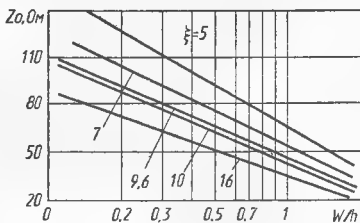


Рис. 11.17. Графики волновых сопротивлений полосковых линий

менее 1,5 от ширины линии 1. Расстояние между линиями 2-3 и «землей» фольги должно быть в пределах 2...3 от ширины этих линий.

При аккуратном изготовлении такие КСВ-метры с успехом можно использовать для работы на УКВ. Впоследствии КСВ-метры с направленными ответвителями на полосковых линиях стали использоваться и в диапазонах коротких волн. Действительно, для диапазонов КВ точность выполнения линий передачи в КСВ-метре уже не играет существенной роли. Но если на диапазонах УКВ для работы КСВ-метра вполне достаточно мощности 100 мВт, то для такого же КСВ-метра в диапазоне КВ требуется минимальная мощность уже в 20...50 Вт.

Для увеличения чувствительности и уменьшения погрешности измерения на диапазонах КВ используют схему КСВ-метра, показанную на рис. 11.18. Конструктивно полосковая линия 1 часто выполняется на одной стороне стеклотекстолита, а полосковые линии 2 и 3 — на другой, симметрично относительно оси симметрии линии передачи 1. Расстояние между линиями 2-3 в этом случае выполняют примерно равным их ширине. Иногда полосковые линии 1, 2, 3 выполняют на одной стороне платы КСВ-метра. При использовании КСВ-метров на полосковых линиях в диапазонах КВ волновое сопротивление линии 2 и 3 иногда выбирают равным волновому сопротивлению фидерного тракта, а волновое сопротивление полосковой линии 1 — равное половине волнового сопротивления фидерного тракта. В этом случае повышается коэффициент связи линий в направленном ответвителе и, следовательно, уменьшается необходимая минимальная мощность для работы КСВ-метра в диапазонах КВ.

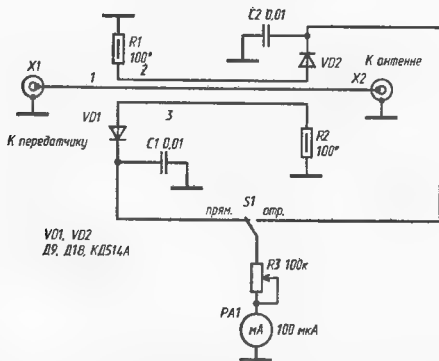


Рис. 11.18. Схема КСВ-метра на полосковой линии для работы в диапазонах КВ

Настройка КСВ-метра для работы в диапазонах КВ аналогична его настройке на УКВ. На минимум отраженной волны КСВ-метр, показанный на рис. 11.18, настраивают изменением сопротивлений резисторов $R1$ и $R2$, каждое из которых первоначально было равно волновому сопротивлению фидерного тракта, и изменением места подключения диодов $VD1$ и $VD2$. Настройку производят по достижению симметрии работы прибора при переключении направления его работы. Длина линии направленных ответвителей для работы в диапазонах КВ может быть в пределах 100 мм. Конструкция прибора может быть аналогична показанной на рис. 11.15. При использовании микроамперметра с максимальным отклонением стрелки 100 мкА можно для определения значений КСВ пользоваться табл. 11.1. Диоды, используемые в КСВ-метре, должны быть германиевыми или с барьером Шоттки.

ИЗМЕРЕНИЕ КСВ НА УКВ

Если радиолюбителя не устраивает точность измерений в диапазонах УКВ приборами, которые были рассмотрены выше, то ему можно посоветовать использовать КСВ-метр на коаксиальной линии передачи с воздушным диэлектриком, изготовленным из двух трубок. Схемы таких КСВ-метров были опубликованы в [4,5,6]. Изготовление этих приборов требует определенной квалификации радиолюбителя. На наш взгляд, гораздо проще использовать КСВ-метр от какой-либо стандартной УКВ аппаратуры, если возникла необходимость в проведении точных антенных измерений, чем изготавливать его самостоятельно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекетов В. Двухнаправленный ответитель.— Радио, 1969, № 7, с. 23.
2. Лаповак Я.С. Я строю КВ- радиостанцию.— М: ДОСААФ, 1983, 109 с.
3. Чернышев В. (UA1MC) УКВ рефлектометр на полосковой линии.— Радио, 1977, № 5, с. 22.
4. Милыхин В. Рефлектометр.— Радиолюбитель. КВ и УКВ, 1998, № 9, с. 33.
5. Комбинированный прибор ультракоротковолновика (из раздела за рубежом).— Радио, 1971, № 4, с. 61.
6. Рефлектометр УКВ.— Радиолюбитель. КВ и УКВ, 1998, № 10, с. 32.

ГЛАВА 12

МОСТОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

При помощи мостовых измерителей сопротивления можно наиболее просто определить входное сопротивление антенны. В зависимости от конструкции прибора можно измерить как активную, так и реактивную составляющие комплексного входного сопротивления антенны.

В этой главе приведены схемы наиболее простых мостовых измерителей, с помощью которых можно определить только модуль входного сопротивления антенны. Освоив эти приборы, радиолюбитель сможет самостоятельно конструировать более сложные, позволяющие определить активную и реактивную составляющие входного сопротивления антенны. Здесь же рассматриваются и другие области применения мостовых измерителей сопротивления, приведены схемы различных индикаторов нуля, позволяющих использовать для питания моста даже гетеродин приемника. Рассмотрены некоторые нетрадиционные схемы мостов, позволяющие более точно измерять низкое входное сопротивление антенны.

КСВ-МЕТР — ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ QRP СТАНЦИИ

Необходимо быть уверенным в том, что работа происходит на согласованную антенну, особенно при использовании QRP-мощности. Ведь от этого зависит эффективность радиостанции, дальность связи. Большинство схем КСВ-метров, опубликованных в литературе, используют принцип измерения прямой и отраженной волны, распространяемой в кабеле, но для QRP этот метод измерения не подходит, поскольку уровень наводимого ВЧ напряжения мал и, следовательно, затруднена его регистрация. Более подходит мостовой метод измерения параметров антенны, также неоднократно описанный в различной радиолюбительской литературе. Он заключается в том, что в одну диагональ моста включается источник ВЧ напряжения, а в другую — измерительный прибор. Одно из плеч уравновешено, в другое включено активное сопротивление, равное волновому сопротивлению кабеля, и сам кабель с антенной. Измеряя прибором напряжение питания моста и напряжение разбаланса, можно судить о КСВ антенны.

Поскольку обычно выходная мощность QRP передатчика лежит в пределах 10 Вт, то сразу такую мощность подать на мост нельзя. Во-первых, можно повредить измерительные диоды моста, а во-вторых, мост обычно имеет входное сопротивление не равное выходному сопротивлению усилителя мощности; он не будет согласован с передатчиком и вследствие этого выходной каскад будет работать в несогласованном режиме. Поэтому желательно использовать согласованную нагрузку для выходного каскада при подключении к передатчику измерительного моста.

Часто необходимо измерить КСВ в тракте коаксиального кабеля волновым сопротивлением как 75 Ом, так и 50 Ом. Эти режимы тоже несложно осуществить в КСВ-метре мостового типа. Схема КСВ-метра мостового типа, в котором учтены все описанные выше требования, приведена на рис. 12.1.

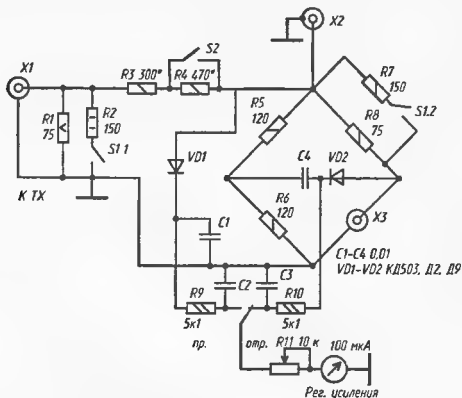


Рис. 12.1. Схема КСВ-метра мостового типа

При подключении КСВ-метра к передатчику без антенны можно измерить его выходную мощность на нагрузке 75 или 50 Ом. Переключатель *S2* позволяет менять пределы измерения в 10 раз: 1,5 Вт или 15 Вт. Желаемые пределы можно выбрать самостоятельно; они определяются видом шкалы используемого микроамперметра.

При измерении мощности на нагрузке 50 Ом дополнительно резистору *R1*, набранному из четырех двухваттных резисторов сопротивлением 300 Ом, подключается еще резистор *R2*, набранный из двух резисторов МЛТ-2 сопротивлением 300 Ом. В мосте параллельно *R8* подключается резистор *R7*, доводя общее сопротивление до 50 Ом. На этом пределе измерения показания прибора надо увеличить в 1,5 раза, чтобы получить реальное значение мощности.

Измерение мощности, особенно в QRP экспедициях, позволит судить о состоянии источника питания трансивера и работоспособности самого трансивера. В домашних условиях этот КСВ-метр можно использовать как нагрузку для QRP-передатчика во время его наладки, одновременно контролируя выходную мощность передатчика.

При измерении параметров антенны последняя подключается в гнездо *X3*. С помощью тумблера *S3* измеряется прямая и отраженная волны и с помощью известных формул находится значение КСВ:

$$КСВ = \frac{U_{ПРЯМ} + U_{ОТР}}{U_{ПРЯМ} - U_{ОТР}}.$$

Поскольку при малых сигналах диоды работают на начале нелинейного участка своих характеристик, реальное значение *KCB* будет немного отличаться от вычисленного. Чтобы этого не происходило, измерения необходимо производить на максимальной выходной мощности трансивера, соответственно уменьшив значение тока резистором *R11*. При работе прибора на небольших мощностях с погрешностью измерения *KCB* можно примириться, поскольку она будет составлять не более 25%, что в любительских условиях вполне приемлемо.

При изготовлении *KCB*-метра следует учитывать, что сопротивления резисторов *R5* и *R6* должны быть по возможности равными и находиться в пределах 51...150 Ом. Все резисторы должны быть безындукционными, и только от рационального монтажа и применяемых диодов будет зависеть граничная частота измерения, которая практически легко достигает 50 МГц, а если использовать *KCB*-метр только для одного волнового сопротивления кабеля 50 или 75 Ом, то несложно достичь и 150 МГц.

Диоды в приборе желательно использовать только кремниевые. При использовании германиевых диодов чувствительность повышается, что дает возможность уверенно работать с генератором стандартных сигналов (ГСС) как источником сигнала при наладке антенн. Но здесь возможно возникновение большой погрешности в случае приема антенной большого уровня сигнала, например в диапазоне 7 МГц антенна может принимать довольно большой уровень ВЧ напряжения от вещательных станций. Все это создает дополнительное напряжение на диодах, что иногда может привести к фальсификации проводимого измерения реальной антенны.

После изготовления *KCB*-метра его необходимо проверить и при необходимости откалибровать. Для этого используют ГСС или реальный трансивер. Подключив в антенное гнездо известное сопротивление, например 75, 50, 100, 200 Ом, определяют, как отличается реальное значение *KCB* от расчетного, и в последующем при измерениях вносят поправки:

$$KCB = \frac{Z}{R} \quad \text{при } Z \geq R;$$

$$KCB = \frac{R}{Z} \quad \text{при } R \geq Z,$$

где *R* — фиксированное сопротивление плеча *KCB*-метра, равное 75 или 50 Ом, *Z* — сопротивление, подключенное в гнездо *KCB*-метра «антенна».

KCB-метр помещают в тщательно спаянный короб из фольгированного стеклотекстолита. Микроамперметр располагают внутри короба. Это позволяет, во-первых, снизить уровень излучения при наладке передатчиков, а, во-вторых, не опасаясь повреждений микроамперметра, использовать *KCB*-метр в полевых условиях.

При конструировании следует учитывать, чтобы мощность, рассеиваемая резисторами при измерениях, не приводила прибор к перегреву.

С помощью этого *KCB*-метра автором были настроены дипольные антенны, используемые в QRP-экспедициях, частоты резонанса которых из-за влияния земли немного «ушли», а также настроены многие стационарные антенны. Ввиду малой подводимой мощности к антенне эта настройка практически не засоряет эфир. При использовании для питания *KCB*-метра стандартного ВЧ-генератора, мощный выход этого генератора можно включать в гнездо *X2*.

Вообще для каждой стационарной антенны желательно иметь график *KCB* по диапазонам ее работы и периодически проверять его. Это позволит держать параметры антенны под контролем.

KCB-МЕТР — ИЗМЕРИТЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Используя *KCB*-метр на направленных ответвителях, радиолюбитель не может точно сказать, какое именно сопротивление имеет измеряемая цепь. Можно лишь сказать, во сколько раз оно отличается в ту или другую сторону от волнового сопротивления кабеля. Действительно, при *KCB* = 1,5 и кабеле 75 Ом сопротивление на-

грузки может быть как 50 Ом, так и 110 Ом. Если в первом случае для достижения $KCB = 1$ можно использовать кабель с волновым сопротивлением 50 Ом, то для второго случая применение такого кабеля увеличит KCB до 2. Следовательно, нельзя точно указать способы согласования антенной системы.

Сопротивление антенны или другой нагрузки можно измерить, используя простой мостовой измеритель сопротивления (рис. 12.2). Пользоваться прибором просто. В гнездо $X1$ подается ВЧ сигнал от трансивера мощностью от 1 до 5 Вт или в гнездо $X3$ подается ВЧ сигнал от маломощного источника, например ГСС, мощностью 100...300 мВт. При отключенной от прибора нагрузке с помощью резистора $R9$ выставляют стрелку индикатора на конец шкалы, затем подключают нагрузку и с помощью переменного резистора $R6$ добиваются минимальных показаний индикатора. Сопротивление $R6$, используемое здесь, должно быть безындукционным. Для удобной работы оно должно быть снабжено возможно большей и точно откалиброванной шкалой. Откалибровать шкалу желательно с помощью цифрового тестера или тестера с зеркальной шкалой. Для этого верхний конец $R6$ отключают от схемы и измеряют суммарное сопротивление $R6R7$, нанося его на лимб $R6$. После калибровки соединение восстанавливают.

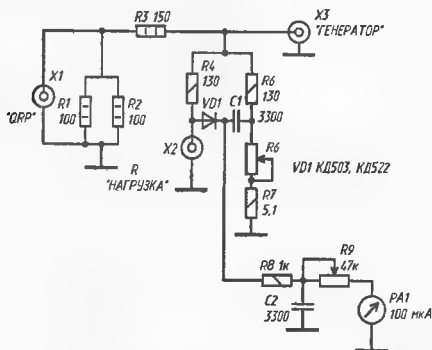


Рис. 12.2. Схема мостового измерителя сопротивления

Данный прибор измеряет модуль полного сопротивления нагрузки. Чем глубже минимум, тем меньше составляющая реактивного сопротивления и тем ближе сопротивление, показанное прибором, к истинному активному. Наоборот, чем слабее минимум, тем больше реактивная составляющая измеряемой нагрузки и тем больше отличается истинное активное сопротивление нагрузки от измеренного прибором.

Подключив в гнездо $X2$ известное сопротивление, можно измерить его реальное сопротивление на высоких частотах. Этим прибором можно определить, что, например резистор МЛТ сопротивлением 75 Ом на диапазоне 1,9 МГц будет иметь сопротивление 75 Ом и минимальную реактивную составляющую — на мосте можно достигнуть очень глубокого минимума. Но уже на частоте 28 МГц модуль сопротивления этого резистора будет иметь сопротивление около 100 Ом (сказывается поверхностный эффект) и значительную по сравнению с 1,9 МГц реактивность (сказывается длина выводов). Достижение на этом диапазоне такого глубокого минимума, как на 1,9 МГц, уже невозможно.

Еще более значительная разница в сопротивлении лампочек накаливания, часто используемых радиолюбителями в качестве маломощных нагрузок QRP-передат-

чиков. Оно может отличаться в несколько раз при измерении на диапазонах 1,9 и 28 МГц.

Мостовой измеритель собран в корпусе, спаянном из фольгированного стекло-текстолита. Монтаж максимально компактный. В качестве измерительного прибора РА-1 использован индикатор уровня записи от магнитофона.

Для определения реального сопротивления антенны ее желательно подключить в гнездо Х2 непосредственно без коаксиального кабеля (если это возможно). После снятия графика сопротивления (или то же самое в данном случае — КСВ) можно судить о работе антенны при подключении ее к кабелю. График сопротивления антенны кабельного питания имеет минимум (этот минимум в данном случае имеет сопротивление, близкое к волновому сопротивлению кабеля) на ее резонансной частоте, и при настройке антенны следует стремиться, чтобы этот минимум был в середине диапазона (рис. 12.3).

Вообще, как показывает опыт, если антенна правильно сконструирована и настроена, то она действительно имеет сопротивление, которое близко к теоретическому.

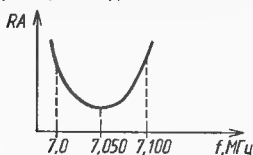


Рис. 12.3. График сопротивления антенны кабельного питания

Например, «дельта» имеет как теоретическое сопротивление излучения около 100 Ом. Измеренное входное сопротивление обычно совпадает с этим значением. Это же можно сказать и о диполях, I. V., G. P. И только в том случае, если антенна (скажем, диполь) расположена низко над землей, его сопротивление уже отличается от 75 Ом в сторону уменьшения. Особенно это заметно при измерении входного сопротивления низко висящих антенн 160-метрового диапазона.

КСВ можно определить несколькими способами. В первом случае — определив сопротивление нагрузки антенны R_A и зная волновое сопротивление кабеля Z_w :

$$КСВ = \frac{R_A}{Z_w} \quad \text{при } R_A \geq Z_w;$$

$$КСВ = \frac{Z_w}{R_A} \quad \text{при } Z_w \geq R_A.$$

Можно определить КСВ и по показаниям индикатора. В отсутствие нагрузки предварительно выставляют сопротивление переменного резистора R_6 равным волновому сопротивлению кабеля. На прибор подают высокочастотное напряжение регулируемого уровня и выставляют стрелку измерительного прибора РА-1 на конец шкалы. Подключив нагрузку и сняв показания индикатора, рассчитывают КСВ:

$$КСВ = \frac{U_{\text{МАКС}} + U_{\text{МИН}}}{U_{\text{МАКС}} - U_{\text{МИН}}},$$

где $U_{\text{МАКС}}$ — показания индикатора с отключенной нагрузкой, $U_{\text{МИН}}$ — показания индикатора с включенной нагрузкой.

Следует заметить, что использование в этом случае индикатора записи от магнитофона приводит к увеличению погрешности, и если предполагается использовать мост для измерения КСВ по приведенной выше методике, желательно использовать высококачественный индикаторный прибор.

С помощью этого прибора можно измерить входное сопротивление различных усилителей мощности. Знание этого сопротивления и характера реактивности на различных частотах полезно при правильном построении широкополосных трансформаторов. Слишком низкое входное сопротивление (менее 20 Ом) говорит о необходимости использовать на входе дополнительный 3:1 или 4:1 трансформатор. Если сопротивление входа немного отличается от расчетного (к примеру 75 Ом) и составляет 50...40 или 100...120 Ом, то необходимо немного увеличить число вит-

ков входных широкополосных трансформаторов или немного уменьшить для второго случая.

С помощью этого прибора можно определить также коэффициент трансформации различных высокочастотных трансформаторов и оптимальное сопротивление их входа-выхода. Для этого вход трансформатора нагружают соответствующим переменным безындукционным резистором (например, для трансформатора 1:4 — переменным резистором 1 кОм) и, вращая поочередно переменный резистор нагрузки и резистор R_6 моста, добиваются самого глубокого минимума. Показания резистора R_6 будут соответствовать оптимальному нагрузочному сопротивлению со стороны низкого входа.

С помощью этого прибора можно определять электрическую длину коаксиального кабеля. Для этого необходимо включить разомкнутый отрезок кабеля, как показано на рис. 12.4. Затем, изменяя частоту генератора, добиваются минимума показаний индикатора. На этой частоте будет резонанс — и электрическая длина кабеля будет кратна $\pi/4$, где π — целое. При измерении электрической длины кабеля следует сразу установить частоты предполагаемого резонанса с учетом коэффициента укорочения кабеля, примерно равным 1,4.



Рис. 12.4. Определение электрической длины коаксиального кабеля

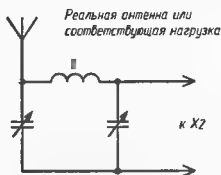


Рис. 12.5. Схема для проверки П-контуров

Подключив реальный кабель, идущий к вашей антенне и к этому прибору, можно определить частоты его резонанса. Если эти частоты лежат в пределах диапазона работы антенны, то возможна неэффективная работа антенны на этом участке. Это может поалечь «горячее» соприкосновение с корпусом передатчика, «нежелание» антенны настраиваться, и различные другие нюансы, знакомые радиолюбителям при настройке антенн. Удлинив или укоротив кабель, можно сместить его резонанс и исключить при этом указанные выше явления.

Можно контролировать работу различных П-контуров. Правильно настроенный П-контур не вносит значительного увеличения реактивности, и его частота резонанса лежит немного выше измеряемого любительского диапазона и четко фиксируется по резкому уменьшению реактивности, а затем по ее резкому возрастанию. Схема для проверки П-контуров приведена на рис. 12.5. Такая проверка позволяет оценить реальную работу П-контуров. При измерении параметров цепи согласующее устройство—антенна можно использовать мост.

При настройке и экспериментах с антеннами, усилителями и другой высокочастотной аппаратурой Вы найдете еще множество точек приложения, где необходим (или крайне желателен) этот прибор.

МОСТОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ С РАСТЯНУТОЙ ШКАЛОЙ

В высокочастотных измерительных мостах описанных выше, используется низкоомный (100...200 Ом) переменный резистор. Доступные низкоомные переменные резисторы обычно имеют характеристику зависимости сопротивления от угла поворота типа А (линейную). Но было бы удобнее для измерения параметров антенн иметь растянутое начало шкалы для более точного измерения низкоомных антенн. А это

практически все антенны, используемые на 160 м, низковисящие антенны 80-метрового диапазона и антенны некоторых других типов. Между тем в некоторых стационарных мостах постоянного тока, предназначенных для измерения низкочомных сопротивлений, давно применяются включение переменного резистора, позволяющее расширить диапазон работы моста в области измерения малых сопротивлений.

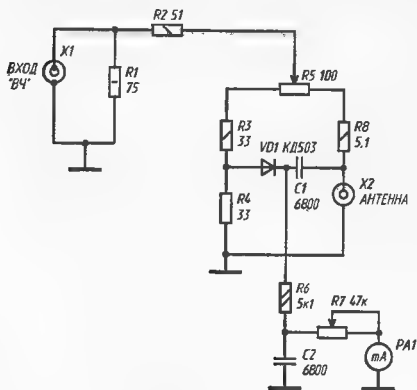


Рис. 12.6. Схема мостового измерителя с растянутой шкалой

Схема аналогичного высокочастотного моста с растянутой шкалой, где линейная характеристика переменного резистора с помощью его специального включения приведена к нелинейной, показана на рис. 12.6. Зависимость сопротивления от угла поворота для линейной и нелинейной характеристик измеряемых сопротивлений показана на рис. 12.7. Как видно из схемы, прибор по своему построению практически аналогичен описанным выше мостам. Отличие в наладке заключается лишь в том, что необходимо вместо антенны включить безындукционный калиброванный переменный резистор и по нему откалибровать показания моста на частоте 7 или

10 МГц. В этом приборе наблюдается более сильная зависимость показаний измерительного прибора PA1 от положения резистора R5 при его регулировке, что предполагает использование для питания моста высокочастотного генератора немного большей мощности, чем та, которая требуется для обычных мостовых измерителей сопротивления.

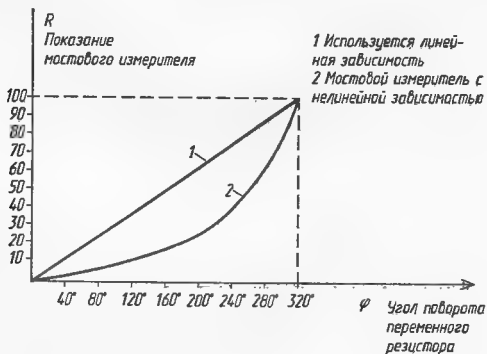


Рис. 12.7. Зависимости сопротивления от угла поворота для линейной и нелинейной характеристик

Прибор собран в корпусе из фольгированного стеклотекстолита, в качестве измерительного прибора РА1 использован индикатор записи от магнитофона. Для удовлетворительной работы на всех любительских диапазонах при измеряемом сопротивлении антенн от 5 до 100 Ом необходимо, чтобы подводимая к нему мощность составляла около 50 мВт.

КОНДЕНСАТОР ПЕРЕМЕННОЙ ЕМКОСТИ В МОСТОВОМ ИЗМЕРИТЕЛЕ

Если радиолюбитель серьезно занимается наладкой антенн на одном диапазоне, то наиболее точные измерения обеспечит мостовой измеритель с переменным конденсатором в качестве регулирующего элемента (рис. 12.8). В одном из плеч моста вместо переменного резистора (обычно применяемого) используется переменный конденсатор, который имеет более стабильные параметры, чем резистор и при использовании совместно с конденсатором верньера можно очень точно определить сопротивление антенны. Емкость конденсатора $C1$ должна оставлять 30% от максимальной емкости $C2$. Для работы на диапазонах 1,9...3,5 МГц емкость $C2$ должна быть 1500 пФ (или минимум 1000 пФ), на диапазонах 7...30 МГц достаточно емкости 495 пФ, на УКВ диапазонах будут работать конденсаторы мвксимальной емкостью до 50 пФ.

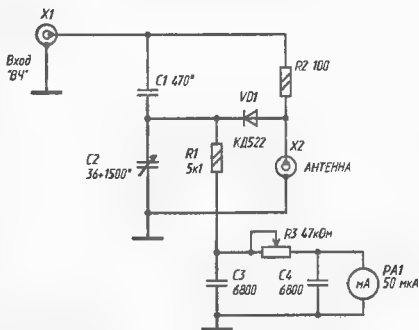


Рис. 12.8. Схема мостового измерителя с переменным конденсатором

Единственный недостаток этого прибора заключается в необходимости индивидуальной калибровки на каждом диапазоне шкалы измеряемых сопротивлений. Но он окупается точностью проводимых измерений.

Монтаж прибора (особенно при выполнении его для диапазона УКВ) должен быть максимально компактным. Калибровку мостового измерителя можно провести, используя магазин безындукционных сопротивлений. Калибровка лимба $C2$ индивидуальная для каждого любительского диапазона, ее необходимо производить посередине частотного диапазона. Прибор при измерении высокочастотных антенн требует относительно высокой мощности от высокочастотного генератора — не менее 100 мВт.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ В КСВ-МЕТРАХ МОСТОВОГО ТИПА

При регистрации сигнала разбаланса обычным мостовым измерителем сопротивления необходимо подавать мощный сигнал от генератора на измерительный мост. Но это не всегда удобно, если измерения проводятся в полевых условиях или для питания моста допускается использование только маломощного источника высокочастотного сигнала. Выходом из этого положения будет использование детекторного приемника в качестве регистрирующего элемента (рис 12.9).

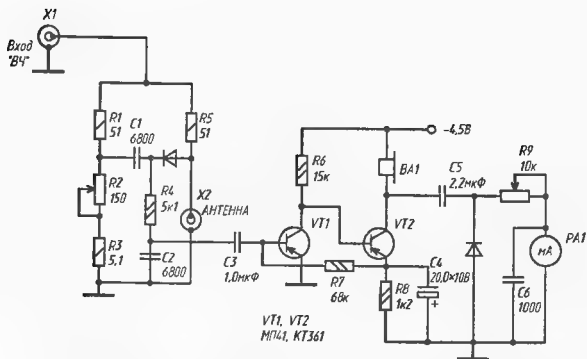


Рис. 12.9. Детекторный приемник в качестве регистрирующего элемента

На измерительный мост подается высокочастотное напряжение, промодулированное по амплитуде звуковой частотой и уровнем в несколько милливольт. Высокочастотное напряжение с такими параметрами может обеспечить любой ГСС; он обеспечивает и модуляцию сигнала низкой частотой 1000 или 400 Гц. При детектировании можно регистрировать звуковое напряжение с помощью телефонов и измерительным прибором. Питается усилитель низкой частоты детекторного приемника от напряжения 4,5...9 В и потребляет несколько миллиампер, что делает его очень удобным для использования в полевых условиях.

Для нормальной работы высокочастотного моста со всеми типами антенн достаточно мощности от генератора не более 10 мВт. Недостатком этой схемы является прямое детектирование любого высокочастотного сигнала, поступающего в антенну, что затрудняет его использование для тестирования длинных антенн, а также антенн, расположенных в непосредственной близости от передающих телевизионных или вещательных станций, и в вечернее время, когда улучшается прохождение мощных радиостанций ДВ-СВ-КВ станций.

Выходом из данной ситуации может служить более сложная схема приемника (рис. 12.10). Как видно из схемы, здесь используется приемник прямого преобразования, работающий на гармониках гетеродина. Гетеродин работает на частотах 700...1440 кГц, что позволяет, используя его гармоники, применять мост во всех любительских КВ диапазонах, на диапазоне 27 МГц и даже на 144 МГц. Приемник питается от напряжения 4,5 В и потребляет ток не более 6 мА. Для уверенной регистрации напряжения разбаланса приемником прямого преобразования на мост необходимо подавать высокочастотную мощность около 1 мВт. Такую выходную мощность обеспечивают даже гетеродины многих приемников, что позволяет использовать их шкалу частот (с учетом ПЧ) для наладки антенн. В приемнике, собранном по схеме рис. 12.10, практически отсутствует прямое детектирование сигнала, что позволяет проводить измерения антенных систем в сложной обстановке в эфире и при наладке длинных антенн.

Трансформатор *T1* намотан на ферритовом кольце диаметром 10 мм и проницаемостью 400. Возможно использование и других типоразмеров колец. Обмотка *I* содержит 10 витков провода ПЭЛ-0,15, намотанных на половине кольца. На другой половине намотана вторичная обмотка, содержащая 10 + 10 витков. Она намотана витой парой проводов типа ПЭЛ-0,15. Катушка гетеродина приемника выполнена

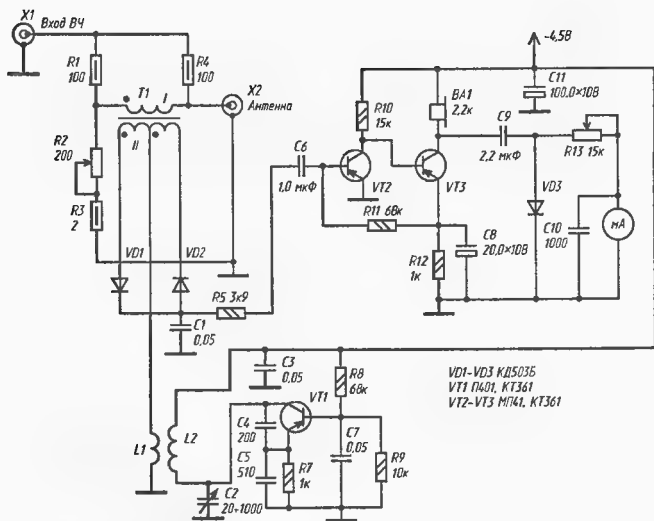


Рис. 12.10. Приемник прямого преобразования в высокочастотном мосте

однослойно на каркасе диаметром 25 мм и длиной намотки 25 мм. Она содержит 60 витков провода ПЭЛ-0,3. Катушка связи содержит 15 витков такого же провода. Она намотана в нижней части гетеродинной катушки, поверх ее внавал, длина намотки 5 мм. Приемники (рис. 12.9–12.10) можно собрать и на современных кремниевых транзисторах. В усилителях низкой частоты приемников необходимо применять высокоомные телефоны, лучше сопротивлением 2,2 кОм. Можно обойтись и без телефонов, используя для регистрации разбаланса измерительный прибор. На высоких частотах эффективность преобразования падает, и напряжение звуковой частоты уменьшается, что делает регистрацию баланса моста более наглядной при использовании звукового контроля, а не измерительного прибора. Приведенные на рис. 12.9 и 12.10 мостовые измерители работают в диапазоне частот от 100 кГц до 200 МГц.

Конструктивно приборы можно выполнить в корпусе из фольгированного стеклотекстолита. Монтаж высокочастотных мостов должен быть максимально компактным и жестким, те же требования предъявляются и к выполнению гетеродина приемника прямого преобразования.

ГЛАВА 13

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МОСТОВ

Для проведения измерений параметров в антенн высокочастотным измерительным мостом необходим сравнительно мощный источник высокочастотного напряжения, обеспечивающий мощность на нагрузке 50 Ом не менее 30...50 Вт. Поскольку

многие радиолюбительские антенны имеют узкую полосу пропускания, то этот источник должен быть высокостабильным.

Наиболее простое решение этой проблемы заключается в использовании трансивера как генератора для питания моста. Но это не всегда возможно. При наладке антенн на крыше и при питании трансивера от сети переменного тока часто использовать так трансивер не всегда возможно. Гораздо проще иметь малогабаритный высокостабильный мощный генератор высокочастотного напряжения, питаемый автономно от батарей. С его помощью можно осуществлять настройку антенн на крышах домов и в полевых условиях.

В этой главе описаны конструкции таких высокочастотных генераторов. Изложена методика использования ГИР и ГСС для питания высокочастотных мостов.

МОЩНЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ МОСТОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ КСВ

Схема простого стабильного и мощного высокочастотного генератора приведена на рис. 13.1. Каждый генератор работает на своем диапазоне. В генераторе для каждого диапазона работы используется один мощный СВЧ транзистор типа КТ606А. Данные катушек для работы на различных диапазонах приведены в табл. 13.1. Генератор может работать на третьей гармонике кварца, т. е. кварц на 7 МГц будет работать в диапазоне 21 МГц. На третьем диапазоне работы транзистор сильно нагревается, особенно при работе на третьей гармонике, поэтому необходимо или снижать напряжение питания генератора или контролировать его температурный режим.

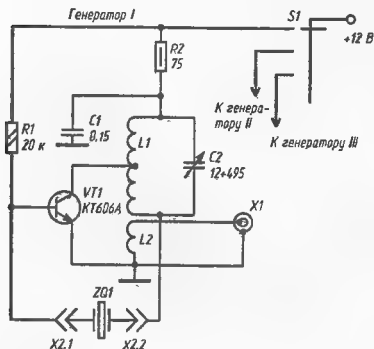


Рис. 13.1. Схема мощного высокочастотного генератора

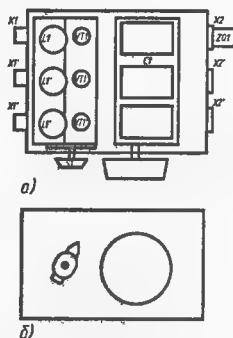


Рис. 13.2. Конструкция генератора

В первом диапазоне генератор потребляет ток в пределах 30...60 мА и отдает мощность около 100 мВт. Во втором диапазоне генератор потребляет 60...80 мА и отдает мощность 80...90 мВт. На третьем диапазоне генератор потребляет 60...150 мА и отдает мощность (даже при работе на третьей гармонике кварца) не менее 80 мВт. Мощность измерялась на нагрузке 50 Ом.

Конструкция генератора показана на рис. 13.2. Для увеличения добротности контура используется включение конденсатора непосредственно в контур, т. е. статор конденсатора находится под напряжением относительно «земли», поэтому необхо-

дим обеспечить его изоляцию от корпуса прибора. В качестве конденсатора $C2$ используется строенный блок конденсаторов переменной емкости со встроенным верньером. Для каждого диапазона генератор выполнен отдельно, соответственно возле своей секции переменного конденсатора. Это сделано с целью максимального увеличения добротности контура генераторов, а, следовательно, и его выходной мощности. Тривнасторы находятся на радиаторах из алюминиевой пластины размерами 80x50x4 мм.

Таблица 13.1

ДАННЫЕ КАТУШЕК ГЕНЕРАТОРА

Диапазон работы		L1				L2
№	Частота, МГц	мкГн	Число витков; провод; отвод	Диаметр каркаса, мм	Длина намотки, мм	Число витков
I	1,5...5,5	20	40; ПЭЛ-0,8; 10	32	50	10
II	4,5...15	3	15; ПЭЛ-0,8; 8	20	20	6
III	10...32	0,7	11; ПЭЛ-1,0; 6	16	30	4

Выполнен генератор в корпусе из фольгированного стеклотекстолита. Монтаж должен быть максимально жестким, особенно на третьем диапазоне работы. Генератор обеспечивает практически синусоидальное выходное напряжение, работоспособен при снижении напряжения питания от 16 до 5 В.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ НАЛАДКИ АНТЕНН

Схема еще одного простого высокочастотного генератора приведена на рис. 13.3. Он питается автономно от батарей и может быть использован на крыше, где установлена антенна. Высокочастотный генератор может генерировать любую частоту в диапазоне 1,8...30 МГц в зависимости от используемого кварца.

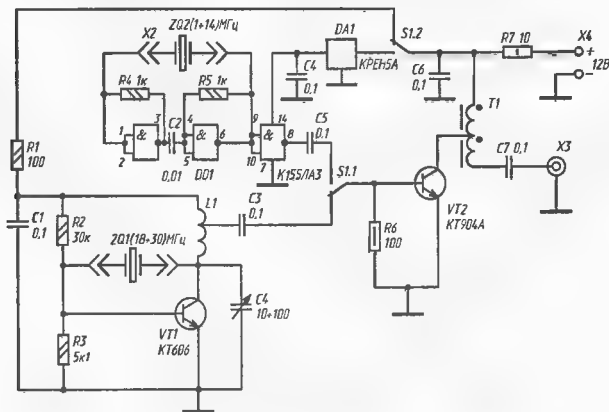


Рис. 13.3. Схема простого высокочастотного генератора

Он состоит из задающего кварцевого генератора на микросхеме *DD1* типа К155ЛА3, работающего в диапазоне частот 1,8...14 МГц в зависимости от частоты используемого кварца. Усилитель мощности на транзисторе *VT2* типа КТ904А усиливает мощность этого генератора до уровня не менее 0,5 Вт, что позволяет питать не только измерительный мост, но и некоторые чувствительные КСВ-метры на ферритовых трансформаторах, использующие сравнение прямой и отраженной волн (гл. 11). В диапазоне 18...30 МГц работает задающий генератор на транзисторе *VT1* типа КТ606А. Он собран по схеме с утроением частоты, на необходимую частоту он настраивается с помощью переменного конденсатора *C4*. Поскольку генератор работает на третьей гармонике, в нем могут работать кварцы, основная частота резонанса которых в 3 раза ниже частоты работы генератора. Для работы на частоте 18 МГц нужен кварц на 6 МГц, для работы на частоте 30 МГц — кварц на 10 МГц и т. д. Такие кварцы недефицитны. При работе в диапазоне 18...30 МГц с помощью переключателя *S1* выходной каскад подключается к генератору на транзисторе *VT1*. На него подается и напряжение питания, которое при этом отключается от микросхемы *DD1*. На диапазоне 18...30 МГц выходная мощность генератора составляет не менее 0,3 Вт, что вполне достаточно для работы с любыми измерительными мостами.

Поскольку генератор стабилизирован кварцем, то при изменении напряжения питания или параметров мостов при его регулировке параметры антенны при ее наладке и частоты будут оставаться неизменными, что выгодно отличает его от рассмотренного выше высокочастотного генератора (рис. 13.1), частота которого изменяется при «плавании» питания, при подключении антенны или изменении параметров моста в процессе его регулировки. Изменение частоты может составить от 50 кГц на частоте 1,8 МГц до 300 кГц на частоте 28 МГц. Недостатком генератора, схема которого приведена на рис. 13.3, является то, что высокочастотный сигнал на его выходе

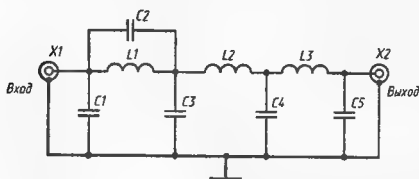


Рис. 13.4. Схема фильтра нижних частот

имеет почти прямоугольную форму на диапазоне частот 1,8...14 МГц и несколько искаженную (при неточной настройке *C4* на рабочую частоту) в диапазоне частот 18...30 МГц. Это может привести к тому, что измерительный мост даст дополнительную погрешность от измеряемого сопротивления примерно 10...15%. Эта погрешность

возникнет за счет проведения измерения на гармониках. Чтобы этого не произошло, желательно использовать на выходе генератора фильтр нижних частот. Схем фильтров приведена на рис. 13.4 [1]. Конструктивные данные фильтра рассчитаны в втором и приведены в табл. 13.2.

Конструктивно фильтры выполнены каждый в отдельной коробке, спаянной из фольгированного стеклотекстолита. К генератору они подключаются с помощью отрезка кабеля длиной 40 см. Фильтр эффективно подавляет гармоники до частоты, отстоящей от частоты среза, указанной в табл. 13.2, на 10%. Фильтры не нуждаются в настройке, и выполненные точно по описанию работают в указанных диапазонах частот.

Высокочастотный генератор выполнен в корпусе из фольгированного стеклотекстолита. Внешний вид его приведен на рис. 13.5. Транзисторы *VT1* и *VT2* расположены на алюминиевом радиаторе размерами 50×90×4 мм. При работе в диапазоне 18...30 МГц эти транзисторы сильно нагреваются, поэтому не рекомендуется включать генератор в этом диапазоне на длительное время. Микросхема стабилизатора питания на 5 В КРЕН5А используется без радиатора. Монтаж кварцевого генератора

Генератор потребляет ток около 250 мА в диапазоне 1,8...14 МГц и около 350 мА в диапазоне 18...30 МГц. Конденсатором С4 можно подстроить контур генератора на необходимую выделенную гармонику по максимальному высокочастотному напряжению на измерительном мосте. Генератор работает при напряжении питания от 7 В при снижении им генерируемой мощности. При питании 16 В выходная мощность (измеренная на сопротивлении нагрузки 50 Ом) достигает 1 Вт; при этом происходит сильный нагрев транзисторов.

Этот генератор можно использовать и для проведения экспериментальных телеграфных QRP QSO. Для этого необходимо в цепь эмиттера VT2 включить телеграфный ключ, заблокировав его конденсатором емкостью 0,1 мкФ. Если последовательно с кварцами в генераторе включить переменный конденсатор емкостью до 100 пФ, то можно в небольших пределах подстраивать частоту кварцеванных генераторов. При проведении связей качество сигналов в диапазоне 1,8...28 МГц оценивалось как отличное.

КВ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОСТА.

При наладке КВ антенн с помощью измерительного моста необходимо иметь источник стабильного ВЧ сигнала, работающий в любительских диапазонах частот, и мощностью не менее 50 мВт. Некоторые другие типы измерительных мостов со входным сопротивлением 50 Ом — необходимого для согласования с источником сигнала или с коаксиальным кабелем питания — требуют подаваемой к ним мощности не менее 100 мВт (если измерение производится при длинном антенном кабеле). Не всегда удобно использовать для этого трансивер, особенно если измерение необходимо произвести на крыше, непосредственно на антенне. Для этих целей желательно использовать переносной генератор, работающий во всех любительских диапазонах, с плавной перестройкой частоты, питающийся от батарей и обеспечивающий выходную мощность не менее 100 мВт и высокую стабильность частоты сигнала в процессе наладки антенных систем. Последнее необходимо при настройке узкополосных антенн и их согласующих устройств. Предложенный в [2] генератор не решает всех этих проблем. Его выходная мощность мала — всего около 50 мВт, стабильность частоты не удовлетворительна и при подключении антенны в процессе регулировки она значительно изменяется.

От этих недостатков свободен генератор, схема которого приведена на рис. 13.7. Генератор работает в трех непрерывных диапазонах: 1,4...3,2 МГц, 3,2...8,0 МГц, 8,0...30,0 МГц. В первом диапазоне его выходная мощность (измеренная на нагрузке 50 Ом) не менее 400 мВт, во втором диапазоне — не менее 300 мВт, в третьем диапазоне — от 150 мВт на частоте 30,0 МГц до 200 мВт на частоте 8 МГц. При подключении антенны частота генератора изменяется не более чем на 5 кГц в первом диапазоне, не более чем 15 кГц во втором диапазоне и не более чем 30 кГц на третьем диапазоне его работы. Это позволяет использовать генератор для наладки узкополосных антенн, иметь простую механическую шкалу в его конструкции и быть уверенным в истинных показаниях частоты настройки.

Как видно из рис. 13.7, КВ генератор состоит из задающего генератора на транзисторах VT1–VT2, схема которого примерно аналогична рассмотренному выше генератору [2], и линейного усилителя мощности на транзисторе VT3. Катушки диапазонов работы генератора переключаются с помощью переключателя S1 типа ЗПЗН. Коммутация диапазонов на схеме показана упрощенно с целью избежания загромождения рисунка.

При испытаниях двухтактного генератора на транзисторах VT1 и VT2 типа КТ630А были получены высокие результаты его работы. Задающий генератор питается от стабилизатора напряжения на 5 В, собранного на микросхеме А1 типа КР142ЕН5А. От этого напряжения запитывается и базовая цепь транзистора VT3 усилителя мощ-

ности. Такое построение питания позволило добиться стабильности частоты генерации начиная от напряжения 8 В и до максимального напряжения питания генератора 15 В. Микросхема А1 используется без радиатора. Можно еще повысить стабильность частоты, питая и выходной каскад от напряжения 5 В. Но выходная мощность в этом случае упадет вдвое, а микросхему А1 необходимо будет установить на радиатор.

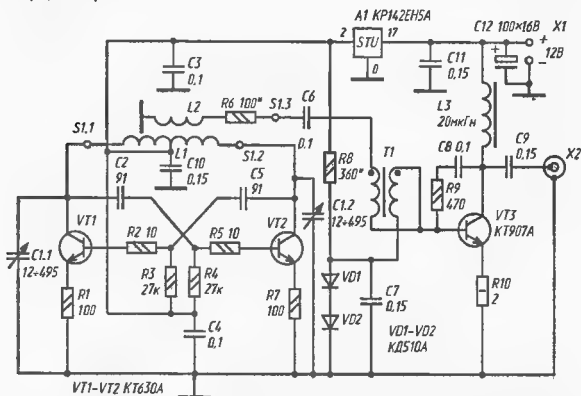


Рис. 13.7. Схема высокочастотного генератора

Наладка генератора не сложна. Если есть возможность, желательно транзисторы VT1 и VT2 подобрать с одинаковыми коэффициентами усиления. Осциллографом или ВЧ-вольтметром необходимо убедиться в равенстве амплитуд высокочастотного напряжения на коллекторах этих транзисторов. Если уровни сигналов отличаются более чем на 30%, то желательно подобрать еще раз транзисторы VT1 и VT2. С помощью резисторов R1 и R7, R2 и R5 добиваются синусоидальной формы выходного сигнала на всех диапазонах его работы. С помощью резистора R8 удерживают ток коллектора транзистора VT3 в пределах 100...150 мА. Этот транзистор установлен на радиатор размерами 40×40×4 мм из алюминия. Трансформатор T1 намотан на ферритовом кольце проницаемостью 600 и внешним диаметром 10 мм. Он состоит из 10 витков витых проводов ПЭЛ-0,3. В качестве дросселя L3 использован стандартный дроссель типа ДМ индуктивностью 20 мкГн.

Таблиц в 13.3

КОНСТРУКТИВНЫЕ ДАННЫЕ КАТУШЕК

Диапазон работы		L1				L2
№	Частота, МГц	L, мкГн	Число витков; провод; отвод	Диаметр каркаса, мм	Длина намотки, мм	Число витков
I	1,5...5,5	20	40; ПЭЛ-0,8; 10	32	50	10
II	4,5...15	3	15; ПЭЛ-0,8; 8	20	20	6
III	10...32	0,7	11; ПЭЛ-1,0; 6	16	30	4

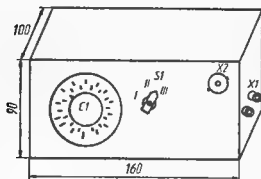


Рис. 13.8. Конструкция высокочастотного генератора

Генератор собран в корпусе из фольгированного стеклотекстолита размерами 160×90×100 мм (рис. 13.8). Монтаж генератора — навесной на задней стенке прибора. Для стабильности частоты его конструкция должна быть по возможности жесткой. Питается генератор от внешнего источника напряжения 12 В. Это могут быть как сухие батареи, так и аккумуляторы; ток потребления 200 мА. Генератор обеспечивает долговременную стабильность генерируемой им частоты и мощности.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА СТАНДАРТНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МОСТОВ

Генераторы стандартных сигналов обеспечивают на нагрузку 50 (75) Ом пиковое напряжение 1...2 В, что соответствует выходной мощности около 50 мВт. Это явно недостаточно для работы с мостовыми измерителями сопротивления антенн.

Для использования обычных мостовых измерителей сопротивлений без их переделки необходим широкополосный усилитель мощности. Схема такого усилителя приведена на рис. 13.9. За его основу взята схема из [3]. В данном случае она претерпела некоторые изменения, позволившие сделать ее удобной для работы с генератором стандартных сигналов. Широкополосный усилитель обеспечивает не менее 1 Вт выходной мощности при работе его совместно с ГСС в диапазоне частот 1...30 МГц. Если уменьшить напряжение питания до 12 В и использовать номиналы деталей, указанные в скобках, то выходная мощность усилителя упадет до 600 мВт, что тоже вполне достаточно для работы со многими типами измерительных мостов.

При сборке усилителя из исправных деталей и токе 340 мА при питании 24 В или 120 мА при питании 12 В (с помощью резистора R4) усилитель сразу работает и не нуждается в наладке. Усилитель удобно собрать навесным монтажом на выводах транзистора и небольшом кусочке стеклотекстолита, прикрепленном к радиатору мощного транзистора. Конечно, можно собрать усилитель и с использованием печатного монтажа.

После изготовления усилителя желательно снять его амплитудно-частотную характеристику с конкретным ГСС и убедиться в отсутствии паразитной генерации на каком-либо участке диапазона работы с помощью осциллографа. Трансформатор T1 выполнен на кольцевом магнитопроводе размером 7×4×2 из феррита проницаемостью 400...600. Обмотки содержат по 12 витков витых проводов типа ПЭЛ-0,35; одна скрутка на 1 см. Ферритовое кольцо можно использовать и больших размеров. Усилитель собран в корпусе из фольгированного стеклотекстолита. Транзистор VT1 установлен на радиаторе. Необходимо обеспечить охлаждение радиатора, особенно при питании усилителя напряжением 24 В. На корпус усилителя выводятся высокочастотные гнезда входа-выхода и выводы питания усилителя.

Иногда неудобно использовать ГСС совместно с усилителем мощности. Это могут быть случаи проведения измерений в полевых условиях с питанием ГСС от батарей или в случае возбуждения усилителя мощности при его работе совместно с ГСС.

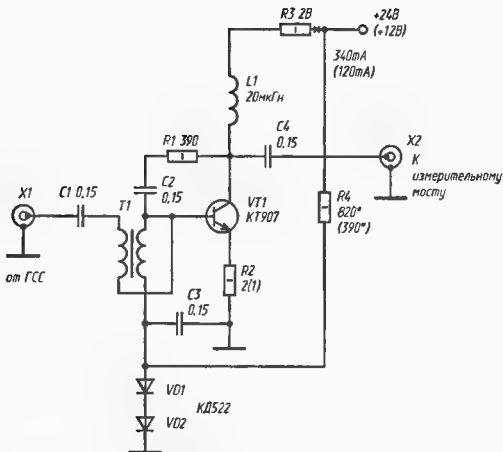


Рис. 13.9. Схема усилителя высокой частоты для ГСС

В этом случае можно использовать мост с усилителем высокочастотного напряжения рвзбалансв. Схема такого моств показанв на рис. 13.10. Отличие ее от других схем мостовых измерителей состоит в том, что высокочастотное напряжение не сразу детектируется и измеряется, а подается через трансформатор *T1* на вход транзисторного двухкаскадного усилителя высокой частоты и затем уже детектируется. Это позволяет обойтись при настройке антенн уровнями ВЧ нвпряжения, выдаваемого генератором стандартных сигналов.

Усилитель может быть собрвн на любых высокочастотных трвнзисторах типов КТ315, КТ312. При сборке из исправных деталей усилитель рвботавт линейно вплоть до частоты 40 МГц. Трансформатор *T1* содержит по 22 витка провода ПЭЛ-0,1 в каждой обмотке. Обмотки находятся симметрично на обоих половинках кольца раз- мерами К10×7×4, но можно использовать кольца больших размеров проницаемос- тью 400...600.

Калибровка прибора заключается в отметке на лимбе переменного резистора *R2* суммарного сопротивления *R2* и *R3*. Это лучше сделать при использовании цифро- вого омметра. Показания лимба при балансировке моста будут соответствовать вход- ному сопротивлению измеряемой цепи.

Мостовой измеритель собран в корпусе из фольгированного стеклотекстолита. Его монтаж должен быть максимально компактным и жестким. Лимб переменного резистора для повышения точности измерений должен иметь максимально воз- можные размеры.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИР ДЛЯ ПИТАНИЯ АНТЕННОГО МОСТА

Многие радиолюбители имеют в своей лаборатории гетеродинный индикатор ре- зонанса (ГИР). Это может быть как самодельный прибор, так и один из ранее выпус- кавшихся нашей промышленностью. Как правило, такие приборы имеют маркиро- ванную шкалу, верньерное устройство. Это позволяет произвести первоначальную

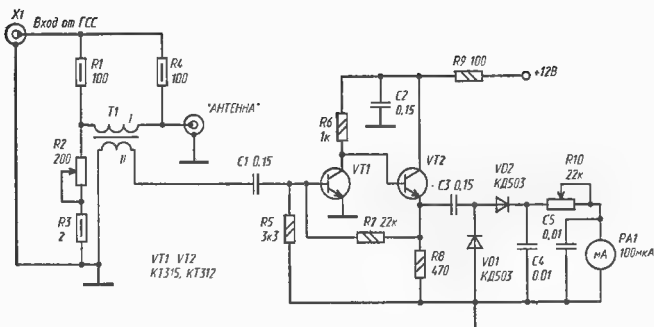


Рис. 13.10. Схема моста с усилителем высокочастотного напряжения разбаланса

установку чвстоты с высокой для радиолюбительских целей точностью и в дальнейшем, используя ее и чвстотомвтр, произвести точную настройку испытываемого ГИР устройства.

Обычно в конструкции ГИР используется маломощный генервтр, что не позволяет с его помощью произвести измерение параметров антенны или других устройств мостовым измерителем сопротивления. А это бывает необходимо сделать для определения реального сопротивления устройства после первоначального определения его резонансв с помощью ГИР. В этом случае целесообразно изготовить усилитель мощности для имеющегося ГИР. Схема такого простого усилителя мощнсти показана на рис. 13.11.

Этот усилитель использовалсв с промышленным ГИР, который в првжние годы был в продаже под нвзванием «ГИР радиолюбителя». Он испытывалсв и с рвзличными самодельными транзисторными ГИР. В промышленных ГИР имеется выход высокой частоты, позволяющий подключить усилитель непосредственно к ГИР. Но при таком подключении изменялсв частота работы ГИР, а амплитуда выходного сигнала усилителя иногда была недостаточной для работы измерительного моста.

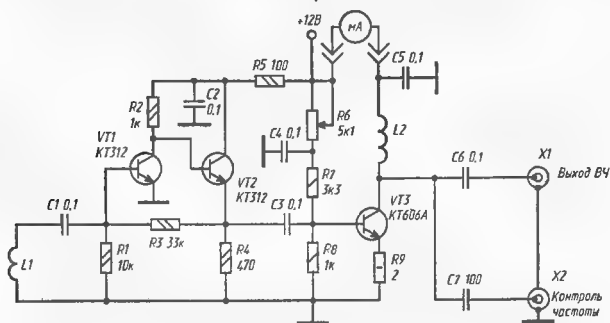


Рис. 13.11 Схема усилителя сигнала ГИР

Наиболее простой и обеспечивающей необходимую мощность схемой подключения к ГИР оказалась индуктивная связь усилителя мощности с его контуром. Наведенная высокочастотная энергия на катушку $L1$ (которая представляет собой 2 витка проводе ПЭЛ-1,0, диаметр катушки такой, что туда входит контур ГИР) усиливается предварительным усилителем на транзисторах $VT1$, $VT2$ типов КТ312, КТ315. Затем происходит дальнейшее усиление сигнала мощным усилителем на транзисторе $VT3$ типа КТ606А. Усилитель обеспечивает выходную мощность (на нагрузке 50 Ом) от 30 до 80 мВт в зависимости от частоты настройки ГИР. Этой мощности достаточно для работы с большинством типов высокочастотных мостов. Катушка $L2$ — это стандартный дроссель типа ДМ индуктивностью 20 мкГн. С гнезда $X1$ сигнал подается на мост, с гнезда $X2$ на контрольный частотомер.

Предварительный усилитель не нуждается в наладке, все режимы в нем устанавливаются автоматически. Для удовлетворительной работы усилителя с конкретным ГИР желательно установить ток выходного каскада с помощью резистора $R5$, при котором обеспечивается максимальная мощность усилителя. Экспериментально выбранный ток для работы с «ГИР для радиолюбителя» оказался равным 60 мА. При использовании этого усилителя с ламповым ГИР ток выходного транзистора для максимального неискаженного выходного сигнала равен 30 мА. При работе усилителя с самодельными транзисторными ГИР ток коллектора доходил до 100 мА. Выходной транзистор $VT3$ необходимо установить на радиатор.

Конструкция прибора показана на рис. 13.12. На основании 1 из фольгированного стеклотекстолита смонтирован усилитель 2. По его бокам запаяны пластины из фольгированного стеклотекстолита для экранировки усилителя. Петля связи 3 располагается снаружи усилителя так, что контур ГИР 4 входит в эту катушку. Салазки 5 позволяют фиксировать положение ГИР в процессе измерения, что необходимо для стабильности частоты и выходной мощности измерительной системы. Для обеспечения максимальной выходной мощности необходимо подобрать положение контура ГИР относительно катушки $L1$ усилителя мощности. Усилитель устойчиво и стабильно работает в диапазоне частот 1...35 МГц.

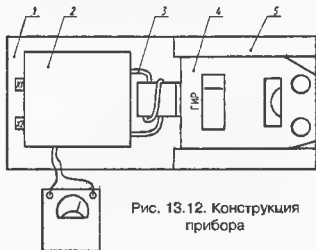


Рис. 13.12. Конструкция прибора

УКВ ГЕНЕРАТОР

При наладке УКВ антенн с помощью измерительного моста необходим источник стабильного и мощного ВЧ-напряжения. Хороший вариант — использование для этого переносной УКВ-радиостанции в режиме малой мощности. Но не все переносные радиостанции имеют широкий частотный диапазон и тем более не все радиостанции могут работать на передачу в диапазоне, охватывающем полосу частот 140...148 МГц. При настройке УКВ-антенны часто бывает необходимо измерять КСВ в широком диапазоне частот, чтобы найти резонанс, и от этого принять решение о дальнейших путях настройки антенны.

Генератор, схема которого показана на рис. 13.13, работает в диапазонах частот 133...149 МГц и 44...56 МГц в зависимости от используемых индуктивностей, параметры которых приведены в табл. 13.4. За основу схемы взята конструкция описанного выше генератора. Собственно сам генератор собран на транзисторах $VT1$ и $VT2$ типа КТ928А или (с некоторым ухудшением работы) КТ930А. Генератор обеспечивает

выходную мощность на базе транзисторов $VT3$ не менее 20 мВт. Резистор $R7$ уменьшает влияние нагрузки на схему генератора. Реально удалось добиться ухода частоты при подключении нагрузки 50 Ом к выходу прибора не более 40 кГц на частоте 144 МГц и 30 кГц на частоте 50 МГц. Генератор питается стабилизированным напряжением 5 В от микросхемы $A1$ типа КР142ЕН5В. Усилитель мощности генераторов собран на транзисторе $VT3$ типа КТ920А. Возможно использование и менее мощных транзисторов при условии контроля их теплового режима. На нагрузке 50 Ом генератор обеспечивал мощность не менее 200 мВт на диапазонах 144 и 50 МГц.

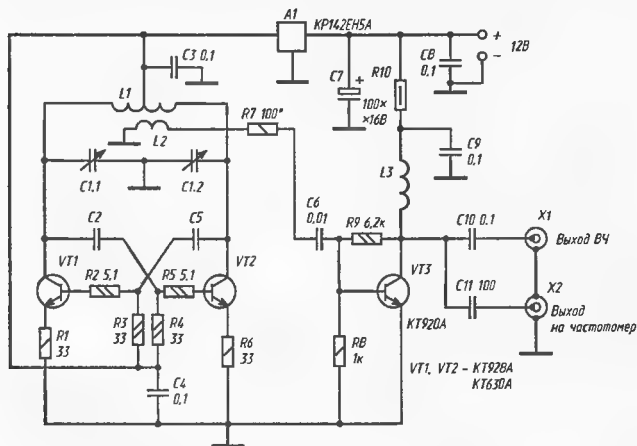


Рис. 13.13. Схема УКВ генератора

Питание задающего генератора стабильным напряжением 5 В позволяет удерживать его частоту генерации в пределах 50 кГц при изменении внешнего напряжения питания от 8 до 15 В. Питание выходного каскада от стабилизированного напряжения позволит еще более повысить стабильность частоты генератора.

Таблица 13.4

ДАННЫЕ КАТУШЕК УКВ ГЕНЕРАТОРА

Диапазон, МГц	$L1$	$L2$	$L3$	$C1$, пФ	$C2$, $C5$, пФ
133...149	2 + 2 витка ПЭЛ-0,8 диаметр 8 мм длина намотки 8 мм	1 виток ПЭЛ-0,8 в средней части $L1$	5 витков ПЭЛ-0,8 диаметр 10 мм длина намотки 12 мм	2 × 8 + 30	15
44...56	3 + 3 витка ПЭЛ-1,0 диаметр 10 мм длина намотки 10 мм	1 виток ПЭЛ-1,0 в средней части $L1$	10 витков ПЭЛ-0,8 диаметр 10 мм длина намотки 12 мм	2 × 8 + 50	24

Выходная мощность прибора при питании всех его каскадов от напряжения 5 В будет не менее 80 мВт на обоих диапазонах его работы. Микросхему $A1$ в этом случае необходимо установить на радиатор. Транзисторы $VT1$, $VT2$ желательно использовать с одинаковым коэффициентом усиления. Если есть возможность, то желатель-

но посмотреть форму сигнала на катушке L2 с помощью осциллографа и более тщательным подбором элементов C2, C5, R2, R5 добиться минимально искаженной синусоиды на выходе генератора.

Генератор собран на плате из фольгированного стеклотекстолита на площадках, вырезанных по месту установки деталей. Монтаж должен быть максимально жестким. Конструктивно прибор выполнен в корпусе, спаянном из фольгированного стеклотекстолита. Для настройки частоты использовался четырехсекционный конденсатор переменной емкости от старого лампового приемника. Секции 8...30 пФ использовались для генератора на частоты 133...148 МГц, секции 12...495 пФ — для работы генератора на частотах 44...56 МГц. Предварительно с ротора переменного конденсатора этих секций удалена часть пластин, так что максимальная емкость каждой секции составляла 50 пФ. Вид на монтаж прибора показан на рис. 13.14. Симметрично относительно конденсатора C1 расположены платы генераторов на 144 МГц и 50 МГц. С помощью переключателя (он не показан на схеме) включается необходимый для настройки антенны генератор. При грубой наладке антенны использовался лимб конденсатора C1, при точной наладке антенны установка частоты генератора осуществлялась с помощью внешнего частотомера, подключенного к гнезду X1. Транзистор VT3 установлен на радиатор из алюминия размерами 40×40×4 мм.

Прибор питался от встроенных аккумуляторов емкостью 700 мА/ч. Это позволило использовать его при наладке антенн на крышах домов и для испытания антенн в полевых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. G-QRP HANDBOOK. 1983
2. КВ сигнал-генератор — Радио. 1990, с. 5, 59.
3. Степанов Б., Шульгин Г. Усилитель мощности на все КВ диапазоны. — Радио, 1980, № 10, с. 19.

ГЛАВА 14

ШУМОВОЙ МОСТ

Шумовой мост (ШМ) является по сути аналогом описанного выше высокочастотного моста. Но для работы высокочастотного моста используется узкополосный сигнал, что позволяет проводить измерения только на частоте работы генератора. Для работы ШМ используется генератор шума, который выдает сигнал частотой от десятков до сотен килогерц, а иногда и до нескольких гигагерц, что позволяет проводить анализ работы высокочастотного устройства практически в любой точке спектра шумового сигнала. ШМ является непростым прибором (по сравнению с ВЧ-мостом) в применении и интерпретации результатов его измерений. Поэтому его рекомен-

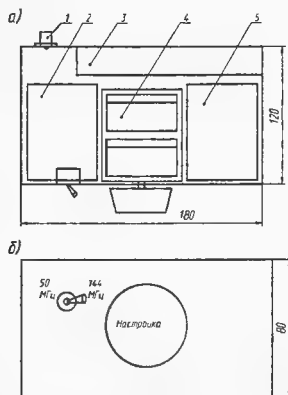


Рис. 13.14. Конструкция генератора:
а — вид сверху со снятым кожухом;
б — вид спереди;

1. Гнезда выхода ВЧ
2. Плата 144 МГц
3. Аккумуляторы питания
4. Конденсатор настройки
5. Плата 50 МГц

дуются использовать тем радиолюбителям, которые имеют опыт эксплуатации высокочастотного моста, измеряющего модуль входного сопротивления антенны, и точность этого измерения не устраивает опытного радиолюбителя.

ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ПРИБОРА

Принцип действия ШМ аналогичен высокочастотному мосту. Структурная схема прибора показана на рис. 14.1. Генератор шума, выполненный на стабилитроне, питает через высокочастотный трансформатор $T1$ плечи моста. Элементы одного плеча служат для балансировки моста, к другому плечу подключена измеряемая цепь.

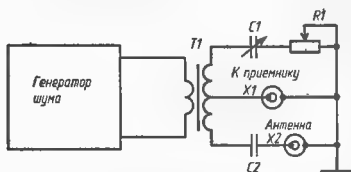


Рис. 14.1. Структурная схема ШМ

В диагональ моста в качестве измерительного индикатора включен антенный вход приемника. При балансировке моста на какой-либо частоте уровень шума, регистрируемый приемником, резко падает. Иногда генератор шума модулируют низкочастотным напряжением. Это дает возможность при использовании простых АМ-приемников (а сейчас в продаже есть множество дешевых приемников китайского производ-

ства с КВ диапазоном, охватывающим диапазон частот 2...25 МГц) более тщательно регистрировать нуль показаний по тональному звуку модуляции шума.

Многие радиолюбительские приемники и трансиверы не имеют режима АМ, что делает нецелесообразным введение дополнительной низкочастотной модуляции шумового сигнала в приборе в случае их использования с ШМ. Схема ШМ приведена на рис. 14.2. Генератор шума на стабилитроне $VD1$ типа $KC147A$ (можно использовать стабилитроны на напряжении стабилизации от 6,8 до 3,3 В при напряжении питания прибора 9 В) обеспечивает равномерный шумовой сигнал в диапазоне частот от сотен герц до сотен мегагерц. Широкополосный усилитель высокой частоты на транзисторах $VT1$ и $VT2$ вызывает и усиливает из этой области полосу частот шириной примерно 10 кГц...50 МГц. Трансформатор $T1$ дополнительно обрезает снизу полосу частот примерно до 100 кГц. Следовательно, ШМ, выполненный по приведенной схеме, работает в диапазоне частот от 100 кГц до 50 МГц.

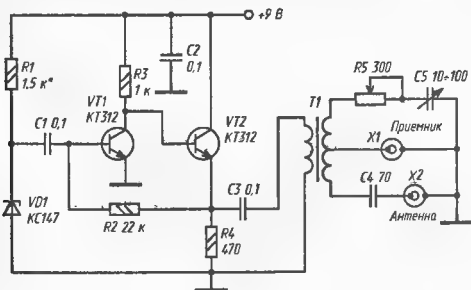


Рис. 14.2. Схема ШМ

Резистором $R5$ осуществляется балансировка активной составляющей сопротивления измеряемой антенны. Для измерения импеданса различных типов распространённых радиолюбительских антенн максимальное сопротивление этого резистора может быть от 100 до 300 Ом. Использование последовательно включенного с нагрузкой конденсатора дает возможность измерять реактивную составляющую сопротивления нагрузки. В большинстве публикаций по применению ШМ рекомендуется использовать конденсатор $C5$ емкостью до 300...400 пФ, а конденсатор $C4$ — вдвое меньшей емкостью.

С учетом опыта автора при эксплуатации ШМ для радиолюбительских целей вполне достаточно емкость конденсатора $C5$ ограничить значением 100 пФ, а емкость конденсатора $C4$ установить равной 70 пФ. Действительно, максимальная емкость 300 пФ нужна для проведения измерений в низкочастотных диапазонах — 100 кГц...1 МГц, а для радиолюбительских КВ и УКВ диапазонов вполне достаточно емкости 100 пФ. Шкала измерения реактивностей низких значений в этом случае будет растянутой и, следовательно, более удобной. Для радиолюбительских целей емкость конденсатора $C4$ лучше выбрать равной не 0,5 от емкости конденсатора $C5$, а 0,7 от ее значения. Такой выбор позволит сделать шкалу измерения реактивности удобной и растянутой при измерении как емкостной, так и индуктивной составляющих сопротивления антенны.

На чем же основано измерение индуктивной и емкостной составляющих ШМ? При равенстве емкостей конденсаторов $C4 = C5$ будет баланс реактивностей моста. При $C5 > C4$ сопротивление нагрузки будет иметь емкостный характер, а при $C5 < C4$ характер нагрузки будет индуктивным. Основная сложность при пользовании прибором заключается в том, что на разных диапазонах значения реактивных составляющих будут отличаться.

Целесообразно произвести калибровку лимба шкалы конденсатора в условных значениях емкости, как показано на рис. 14.3. Калибровку переменного конденсатора можно осуществить с использованием измерителя емкости. Нулевая отметка шкалы будет соответствовать балансу реактивной составляющей. Физически она будет равна емкости $C4$: значение влево от нуля — индуктивной нагрузке, значение вправо от нуля — емкостной нагрузке. Конечно, и в этом случае шкала конденсатора $C5$ фиксирует неудобные величины — «условные» емкости в индуктивной части и действительные емкостные составляющие — в емкостной.

При наладке антенн гораздо полезнее знать не «условную» или действительную реактивную составляющую, а значение реактивного сопротивления на данной частоте, что позволит сравнить его с активным сопротивлением антенны, а значит судить о КСВ антенной системы и о мерах по ее согласованию. Перевод показываемых значений лимба в реактивное сопротивление определенного знака приведен в табл. 14.1. Из таблицы следует, что для каждого диапазона работы прибора требуется своя шкала показаний. Калибровку резистора $R5$ можно осуществить с помощью цифрового омметра. На лимбе этого резистора отмечают действительное значение его сопротивления.

Таблица 14.1

ПЕРЕВОД ФИКСИРУЕМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЛИМБА В РЕАКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Индуктивное сопротивление нагрузки								Емкостное сопротивление нагрузки			
←								→			
70	60	50	40	30	20	10	0	10	20	30	Показания емкости $C5$ по лимбу
0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Емкость конденсатора $C5$

При конструировании прибора следует учесть, что резистор $R5$ должен иметь как можно больший лимб для более точного показания измеряемого сопротивления, а конденсатор $C5$ желательно снабдить верньером. Это особенно необходимо при измерении импеданса антенн на низкочастотных диапазонах.

Существуют малогабаритные конденсаторы переменной емкости до 100 пФ, снабженные внутренним верньером на шарикоподшипниках. Можно использовать и эти конденсаторы, приняв меры по идентификации сектора, где происходит измерение, поскольку полному изменению емкости конденсатора соответствует два-три оборота ручки настройки. При отсутствии конденсаторов с верньером рекомендуется использовать малогабаритный переменный конденсатор типа КПВ. В крайнем случае, можно использовать и обычные переменные конденсаторы от вещательных приемников, но с прорезанными пластинами. При проведении измерений необходимо последовательно регулировать $R5$ и $C5$, добиваясь наилучшего баланса моста по минимуму шума на входе приемника. Эти регулировки влияют друг на друга. Во всяком случае, при проведении первого измерения $C5$ ставят в положение «0» (рис. 14.3) и затем, примерно определив с помощью резисторов $R5$ сопротивление антенной системы, расстройкой этого конденсатора добиваются компенсации реактивности.

В схеме прибора можно использовать любые высокочастотные транзисторы с верхней частотой усиления не менее 250 МГц. Это могут быть транзисторы типов КТ315, КТ312. Трансформатор $T1$ может быть выполнен на ферритовом кольце с внешним диаметром от 7 до 20 мм и проницаемостью от 50 до 2000. На одной половине кольца намотана первичная обмотка. Вторичная обмотка моста намотана витками проводами бифилярно (1 скрутка на 1 см) на второй половине кольца.

Первичная обмотка содержит 20 витков провода ПЭЛ-0,15, обмотки моста содержат по 15 витков провода ПЭЛ-0,2. Если прибор собран из исправных деталей, он не нуждается в наладке. ШИМ конструктивно выполнен в корпусе из фольгированного стеклотекстолита. Монтаж высокочастотной части должен быть максимально жестким, трансформатор $T1$ закреплен на плате с помощью клея. Электронная часть прибора выполнена на плате из фольгированного стеклотекстолита. Для удобства работы с прибором необходимо, чтобы шкалы переменного резистора и конденсатора были максимально больших размеров. Батареи питания установлены внутри корпуса.

МЕТОДИКА НАСТРОЙКИ АНТЕНН С ПОМОЩЬЮ ШУМОВОГО МОСТА

Наиболее приемлемый вариант использования ШИМ при измерении параметров антенн заключается в подключении прибора к антенне без использования кабеля. В крайнем случае можно использовать короткий стретзок коаксиального кабеля длиной не более 0,1 длины волны, на которой работает измеряемая антенна. При таком измерении могут возникнуть сложности по транспортировке стационарного приемника к месту измерения (на крышу или антенную мачту) и обеспечению его электропитания. Выходом из этого положения может служить применение малогабаритного приемника или самодельного приемника прямого преобразования, можно с кварцевой стабилизацией частоты гетеродина. Если это невозможно осуществить, то можно использовать коаксиальный кабель от антенны для передачи на крышу звукового сигнала и подачи на стационарный приемник или трансивер шумового напряжения от моста (рис. 14.4).

Необходимо правильно первоначально установить усиление приемника при использовании кабеля между приемником и ШИМ, а на концы кабеля желательно надеть несколько ферритовых колец для предотвращения проникновения шумового сигнала моста, излучаемого антенной и попадающего на внешнюю оболочку коаксиального кабеля и затем на вход приемника.

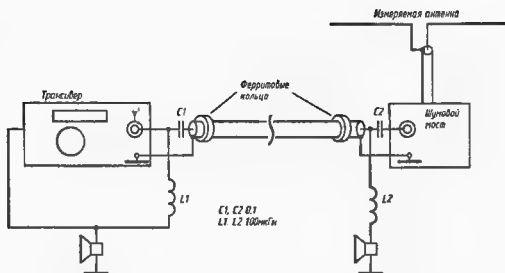


Рис. 14.4. Транспортировка шумового сигнала на стационарный приемник

При невозможности использовать этот метод измерения проводят на месте расположения радиостанции. Желательно, чтобы электрическая длина кабеля до антенны была кратна полуволне измеряемой частоты. Поскольку обычно это условие выполнить невозможно, то, используя ШМ, можно «удлиннить» имеющийся кабель до необходимых размеров. Перед этим определяют резонансные частоты уже имеющегося коаксиального кабеля. Для этого кабель замыкают на конце резистором сопротивлением 10 Ом и подключают его к ШМ (рис. 14.5).

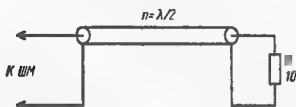


Рис. 14.5. Определение резонансной частоты уже имеющегося коаксиального кабеля

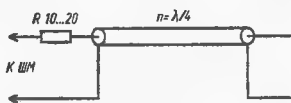


Рис. 14.6. Определения длины четвертьволновой линии

Устанавливают значение реактивности на «0», значение активной составляющей измеряемого сопротивления устанавливают в положение 10 Ом. Определяют частоту полученного резонанса, а затем, подключая различные отрезки кабеля или, если это возможно, укорачивая кабель, смещают резонанс линии на необходимый участок. В некоторых источниках рекомендуют при определении резонансной длины линии замыкать ее на конца без резистора. Но при таком измерении мост трудно балансировать и его показания могут отличаться от действительных резонансных значений.

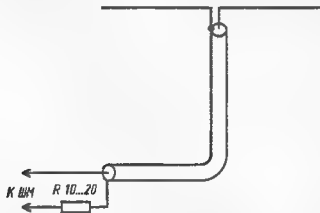


Рис. 14.7. Определение входного сопротивления низковисящих антенн

Для определения длины четвертьволновой линии ее следует подключать к ШМ через низкоомный резистор сопротивлением 10...20 Ом (рис. 14.6); линия должна быть разомкнута. Установив конденсатор С5 в значение «0», а переменный резистор на известное значение подключенного низкоомного сопротивления, определяют резонанс системы. Через такое же сопротивление следует подключать и низкоомные антенны — короткие штыри и низковисящие антенны низкочастотных диапазонов.

зонов (рис. 14.7). Хотя теоретически нет различия, куда включать сопротивление (в центральную жилу кабеля или в его оплетку), на практике более точные измерения получаются при подключении резистора к оплетке. Разумеется, при проведении измерений антенных систем необходимо вычитать из показаний прибора сопротивление включенного последовательно с кабелем резистора.

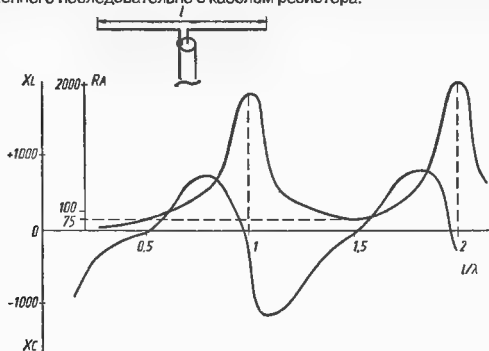


Рис. 14.8. Характеристика дипольной антенны

При проведении измерений совместно с приемником, имеющим непрерывный диапазон, желательно первоначально определить все резонансные частоты антенны. Установив, в какую сторону отличается действительный резонанс антенны от желаемого, регулируют длину антенны. Если резонанс находится ниже по частоте, антенну укорачивают, если выше — удлиняют. При использовании трансивера или приемника, имеющего узкие диапазоны, определяют сопротивление антенны на середине любительского диапазона. Типичная характеристика дипольной антенны показана на рис. 14.8. Как видно из рисунка, на резонансе реактивность равна нулю, а активное сопротивление примерно равно 75 Ом при длине антенны $0,5\lambda$ и $1,5\lambda$. При длине антенны, кратной длине волны, активная составляющая ее сопротивления достигает 2000 Ом, а реактивная составляющая практически равна нулю.

Если длина антенны больше, чем требуется, то, как следует из графика (рис. 14.8), ее реактивность будет носить индуктивный характер, если длина антенны меньше — емкостный характер. Определив значение реактивности, принимают меры по настройке антенны, — укорачивая ее при индуктивном характере сопротивления или удлиняя при емкостном характере сопротивления.

С помощью ШМ возможна настройка трансформаторов для работы в согласующих устройствах антенных систем. Для этого трансформатор нагружают на его расчетную активную нагрузку и измеряют входной импеданс на разных частотах. Можно производить подстройку трансформатора для работы в необходимом диапазоне частот путем изменения числа его витков и способов их намотки.

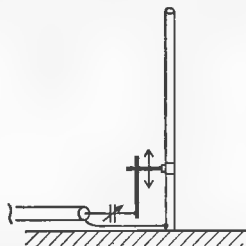


Рис. 14.9. Настройка гамма-согласующего устройства

Очень просто с помощью ШМ производить настройку гамма-согласующих устройств (рис. 14.9). С помощью переменного конденсатора гамма-согласующего устройства добиваются нулевой реактивности в показаниях моста. Если входное сопротивление системы при этом выше волнового сопротивления кабеля, то длину гамма-согласования укорачивают с помощью перемычки. Затем производят вновь регулировку антенной системы с помощью переменного конденсатора гамма-согласующего устройства. Если активное сопротивление меньше волнового сопротивления кабеля, то длину гамма-согласования с помощью перемычки кабеля увеличивают. При настройке гамма-согласующего устройства лимб измерения реактивности ставят в положение «0».

КСВ-метры отражательного типа не позволяют так просто определить необходимость укорочения или удлинения гамма-согласования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dodd Peter. The Antenna experimenter's guide. DD Publications.

ГЛАВА 15

ГЕТЕРОДИННЫЙ ИНДИКАТОР РЕЗОНАНСА

Радиолюбители в своей практической деятельности давно используют ГИР. С его помощью наиболее просто и быстро можно определить резонансные частоты линий передач, антенных систем и фильтров-пробок, используемых в антеннах типа W3DZZ.

Примерно до начала 80-х годов ГИР выпускались электронной промышленностью. Их схемы для самостоятельного изготовления часто публиковались в радиоловительской литературе. Можно было недорого приобрести списанные приборы для радиоловительской лаборатории. В настоящее время выпуск этих приборов прекращен, и ГИР, чаще всего, приходится собирать самому. Приведенные ниже сведения позволят разобраться в многообразии схемных решений ГИР, выборе оптимальной схемы построения и работе с этим прибором.

ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ГИР

Принцип работы ГИР основан на «отсосе» энергии резонансной цепью от источника высокочастотного напряжения. В результате этого происходит уменьшение напряжения на источнике. Это уменьшение можно зафиксировать с помощью специальных методов и приборов. Наиболее распространены два из них: измерение напряжения на контуре высокочастотного генератора при «отсосе» из него ВЧ энергии или фиксация изменения тока генератора в этом режиме. Исходя из этого можно составить схему ГИР.

Любой ГИР состоит из высокочастотного генератора, работающего в диапазоне измерений ГИР, и индикатора высокочастотного напряжения на контуре или измерителя тока активного элемента генератора. Часто для увеличения чувствительности ГИР используют усилители высокочастотного напряжения, генерируемого в ГИР, или усилители постоянной составляющей тока активного элемента ГИР. Усилители тока или напряжения используется в основном в транзисторных приборах. В ГИР, собранных на электронных лампах, амплитуда высокочастотного напряжения и уровни измеряемых токов достаточно велики и обычно не требуются усилителей для надежной работы прибора.

Как показывает опыт, наилучшие результаты получаются при измерении сеточного тока лампы или тока затвора (базы) транзистора генератора. В последних случаях эти токи очень невелики, и получить достоверные результаты можно только очень

чувствительным гальванометром или используя усилители постоянного тока. Измерение постоянной составляющей тока коллектора или стока не позволяет добиться высокой чувствительности прибора. Для увеличения чувствительности обычно используют мостовые схемы измерения, так как в этом случае при регистрации разности токов можно получить достоверные показания срыва генерации или «отсоса» энергии в приборе.

Важную роль играет и построение схемы генератора, который должен работать в «мягком» режиме возбуждения. Именно в таком режиме достигается максимальный «отсос» энергии измеряемой цепью от контура генератора. Работа в «мягком» режиме возможна во всем диапазоне работы генератора лишь при использовании переменного конденсатора в контуре генератора емкостью не более 200 пФ, что требует увеличения числа поддиапазонов работы прибора для перекрытия необходимого частотного интервала работы ГИР.

При «мягком» возбуждении генератора в момент резонанса измеряемой цепи с контуром ГИР происходит «отсос» энергии этой резонансной цепью, что приводит к пропорциональному уменьшению напряжения на контуре, а это в свою очередь приводит к изменению тока сетки лампы или затвора (базы) транзисторов, что можно зафиксировать путем соответствующих измерений. При «жестком» режиме самовозбуждения генератора ГИР при «отсосе» энергии от контура напряжение на нем не меняется пропорционально этому воздействию, а генератор вследствие изменения режима его работы «пытается» восполнить эти потери. В результате нет такого выраженного изменения высокочастотного напряжения на контуре: ток электронного прибора тоже изменяется не существенно. Только очень сильное воздействие на контур «жесткого» генератора или полный срыв его колебаний могут быть зарегистрированы.

ГИР должен иметь равномерную чувствительность внутри диапазона работы, что можно контролировать с помощью измерительного прибора. Высокочастотное напряжение или ток сетки (в транзисторных приборах базы или затвора) внутри диапазона работы не должен меняться более чем на 20%. Если эти изменения больше, то необходимо ввести в прибор элементы регулировки режима генерации или применить другую схему ГИР.

В простейшем случае регулировка режима генерации заключается в изменении тока базы в схемах на биполярных транзисторах или в изменении напряжения питания для генераторов на лампах или полевых транзисторах. Чувствительность индикатора ГИР должна быть такова, чтобы в самом худшем случае его показания занимали не менее 50% шкалы.

Обычно снижение показаний возможно при работе генератора на высоких частотах, где добротность контуров падает, или наоборот, на очень низких частотах, где не соблюдаются условия нормального возбуждения генератора.

Необходимо, чтобы ГИР обладал высокой чувствительностью при резонансных измерениях. Проверить ее можно, измеряя частоту контура образованного высокодобротной катушкой (намотанной проводом диаметром 0,5...1 мм), соединенной с конденсатором емкостью 200 пФ для диапазона измерений 1...4 МГц, 150 пФ для диапазона измерений 4...9 МГц, 100 пФ для диапазона измерений 9...20 МГц и 50 пФ для диапазона 20...35 МГц.

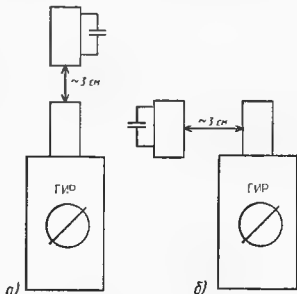


Рис. 15.1. Положение ГИР при измерении резонанса контуров

ГИР должен уверенно регистрировать резонанс этого контура уже на расстоянии между осями катушек не менее 3 см (рис. 15.1). Меньшее расстояние, необходимое для индикации резонанса, или существенно разные значения резонансных частот при нескольких измерениях (при перестройке переменного конденсатора ГИР вверх и вниз) служит основанием для браковки прибора.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ КОНТУРОВ

Явление «отсоса» энергии между двумя настроенными на одну частоту контурами и связанными общим магнитным полем в радиотехнике обнаружили еще в начале XX века не только с созданием вакуумной электронной лампы в двадцатых годах XX века появились первые ГИР. Вначале ГИР использовались только для определения резонансной частоты контуров. Наиболее точные и легко интерпретируемые результаты измерений возможно получить только в этой области использования ГИР. Следует заметить, что обычно ГИР может четко определить резонанс контура с добротностью более 10...20. Это значит, что он не может достоверно определить резонанс нагруженного контура или нагруженной резонансной системы с низкой добротностью. Для определения резонансной частоты контур и катушку ГИР располагают как показано на рис. 15.1. Затем, медленно изменяя частоту прибора, находят резонанс контура, руководствуясь относительным изменением тока измерительного прибора ГИР, и постепенно удаляя катушку ГИР от измеряемого контура, более точно определяют его частоту.

Обычно во всех ГИР как промышленного изготовления, так и радиолюбительских предусматривают гнездо для непосредственного подключения измеряемого контура через небольшую емкость к контуру ГИР. Следует по возможности избегать использования этих гнезд при проведении измерений, так как при этом возможно явление затягивания частоты генератора ГИР измеряемой резонансной системой, а при низких добротностях измеряемых систем резонанс будет весьма расплывчат. Из-за влияния внешних факторов частота, показываемая лимбом прибора, может несколько отличаться от истинной частоты резонанса контура. Обычно это отличие невелико и им пренебрегают, но если необходимо точно измерить частоту контура, то дополнительно контролируют частоту настройки ГИР цифровым частотомером. Практически все промышленные ГИР имеют гнездо контроля частоты, несложно его сделать и в самодельных приборах. Точные измерения частоты контуров необходимо например для режекторных контуров, используемых в антеннах типа W3DZZ. При отсутствии частотомера в этом случае можно пользоваться приемником, прослушивая несущую частоту ГИР. Используя катушки индуктивности и конденсаторы известных номина-

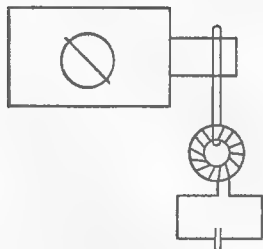


Рис. 15.2. Определение резонансной частоты катушек на тороиде

лов, и подключая к ним неизвестные радиоэлементы, можно определить их параметры. Для этого удобно пользоваться графиками, приведенными в на рис. П. 7.1.

Для определения резонансной частоты катушек, намотанных на тороидальном сердечнике, необходимо связать тороид и катушку ГИР витком провода, как это показано на рис. 15.2. Постепенно удаляя виток от катушки ГИР, определяют более точно частоту настройки контура. Следует заметить, что из-за наличия короткозамкнутой петли резонанс контура на тороиде сдвигается вверх примерно на 5...10% в зависимости от числа витков катушки тороида.

С помощью ГИР можно определить качественные параметры ферритовых колец без маркировки. Для этого наматывают на кольцо 5...20 витков провода, подключают к ним конденсатор емкостью 50...200 пФ и определяют резонанс системы. Затем изменением числа витков и емкости конденсатора смещают резонанс в область частот, на которых предполагается работа кольца. Если в этой области частот резонанс явно выраженный, и регистрируется на некотором удалении петли связи от катушки ГИР, то такое кольцо можно использовать на этих частотах. Подобные измерения можно проводить, имея соответствующий опыт определения добротности как обычных, так и тороидальных катушек. Каждый прибор ГИР, даже выпускаемый серийно, имеет свои индивидуальные особенности, поэтому необходимо поработать с ним для накопления опыта проведения измерений именно со своим прибором.

Если измерения параметров резонансных систем производятся в аппаратуре, то она в это время должна быть обесточена и желательно отключена от сети.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧ

Перед радиолюбителем часто стоит задача определения электрической длины линии питания антенны. Это необходимо если при наладке антенны измерительные приборы находятся на радиостанции, вдали от антенны, и вследствие конструктивных особенностей этих приборов или расположения антенны невозможно произвести измерения непосредственно на ней. В этом случае при определении резонанса антенны необходимо использовать линию питания электрически кратную $\lambda/2$ длине волны работы антенны. В этом случае влияние линии питания на результаты измерения минимально. Некоторые антенны предполагают их питание по кабелю, имеющему электрическую длину кратную $\lambda/2$. Следует заметить, что это не лучший вариант питания антенны. Кабель с электрической длиной кратной $\lambda/2$ обладает антенным эффектом, особенно выраженным при работе антенной системы даже с небольшим КСВ. При использовании кабеля для питания многодиапазонных антенн необходимо стремиться к тому, чтобы электрическая длина кабеля не была равна или кратна $\lambda/2$ ни на одном из диапазонов работы антенны.

Иногда необходимо определить длину кабеля уже проложенного до антенны. Наиболее просто это сделать, определив электрическую длину кабеля, а затем, учитывая его коэффициент укорочения, определить и физическую длину.

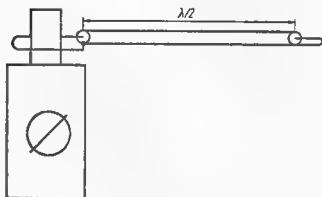


Рис. 15.3. Определение электрической длины $\lambda/2$ коаксиального кабеля

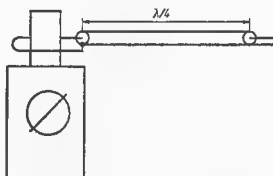


Рис. 15.4. Определение электрической длины $\lambda/4$ коаксиального кабеля

Для определения его электрической длины, кабель отсоединяют от антенны и закорачивают. Второй конец кабеля с помощью петли связывают с катушкой ГИР, как показано на рис. 15.3. Если длина измеряемого кабеля неизвестна, то наиболее рационально начать производить измерение резонансов системы в УКВ диапазоне

30...60 МГц. В нем сразу же обнаружим множество резонансов кабеля. Например, кабель неизвестной длины резонировал на частотах 36, 40, 44 МГц. Видим, что разница между крайними частотами резонансов составляет 4 МГц. Ставим в ГИР контур, работающий в этой полосе частот, и более точно определяем частоту резонанса кабеля, а затем его электрическую и физическую длину.

Например, по шкале ГИР определили резонансную частоту кабеля в 4,12 МГц. Длина волны на частоте 4,12 МГц равна 72,81 м. Половина длины волны, соответствующая резонансу полуволнового закороченного кабеля, равна 36,4 м. Это электрическая длина кабеля. Поскольку линия передачи в диэлектрике обладает коэффициентом укорочения, равным для кабеля с полиэтиленовой изоляцией 0,66, находим с учетом этого физическую длину. Она равна 24,03 м. Следует заметить, что многие бытовые кабели, используемые радиолюбителями при построении антенн, имеют коэффициент укорочения не равный точно 0,66. Более того, он может даже отличаться по длине кабеля.

Если электрическая или физическая длина кабеля примерно известна, то можно сразу ставить контур того предела, на котором ожидается резонанс системы.

При построении четвертьволновых трансформаторов необходим отрезок кабеля электрической длиной $\lambda/4$. Можно отрезать кусок кабеля немного больший необходимой физической длины, учитывая его коэффициент укорочения, а затем с помощью ГИР точно определить его электрическую длину. Наиболее просто это можно сделать, связав разомкнутый кусок кабеля петлей связи с катушкой ГИР, как это показано на рис. 15.4. Постепенно ослабляя связь, точно определяют электрическую длину кабеля. При этом измерении достижима погрешность не хуже 5%. Для более точных измерений с погрешностью не хуже 1% можно воспользоваться схемой, показанной на рис. 15.5.

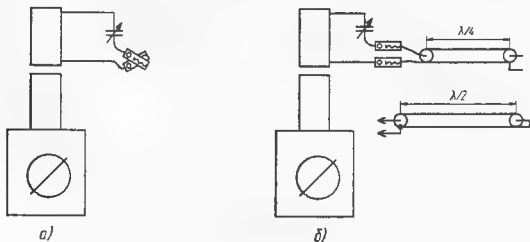


Рис. 15.5. Измерение электрической длины кабеля с минимальной погрешностью

В том случае, когда отрезок кабеля не имеет электрическую длину равную $\lambda/4$, то он вносит в контур реактивность. Если при подключении такого нерезонансного отрезка для подстройки контура в резонанс на его прежнюю частоту настройки емкость конденсатора необходимо уменьшать, то можно сделать вывод, что линия вносит индуктивное сопротивление в контур, т. е. ее длина больше $\lambda/4$. Ее длину уменьшают и снова производят контроль резонанса системы.

В этом случае используют промежуточный контур, настроенный на частоту, на которую необходимо изготовить линию длиной $\lambda/4$. Согласно рис. 15.5а контур настраивают в резонанс, контролируя его частоту резонанса с помощью ГИР и цифрового частотомера. Затем в контур включают четвертьволновый разомкнутый отрезок кабеля согласно рис. 15.5б. Если отрезок настроен точно на частоту работы ГИР и контура, то его реактивное сопротивление близко к нулю, и он обладает лишь не-

большим активным сопротивлением, которое вносит только дополнительные активные потери в контур. При этом частота контура при подключении этого отрезка практически не сдвигается, а только может происходить небольшое уменьшение его добротности, что и определяется с помощью ГИР.

В том случае, когда отрезок кабеля не имеет электрической длины равную $\lambda/4$, то он вносит в контур реактивность. Если при подключении такого нерезонансного отрезка для подстройки контура в резонанс на его прежнюю частоту настройки емкость конденсатора необходимо уменьшать, то можно сделать вывод, что линия вносит индуктивное сопротивление в контур, т. е. ее длина больше $\lambda/4$. Ее длину уменьшают и снова производят контроль резонанса системы.

Если же при подключении отрезка кабеля емкость конденсатора пришлось увеличивать, то можно сказать, что линия вносит емкостное сопротивление, и ее длину необходимо увеличить — в простом случае нарастить небольшой кусочек. Таким же образом можно проверить и линию электрической длиной $\lambda/2$, подключив ее вместо линии $\lambda/4$ согласно рис. 15.5б. В этом случае половолновая линия должна быть замкнута на конце.

Иногда при измерениях на частотах 50...144 МГц удобнее включать тестируемую линию не последовательно, а параллельно с промежуточным контуром, как показано на рис. 15.6. В этом случае используют важное свойство длинных линий: закрытая четвертьволновая линия или открытая половолновая линия имеет высокое входное сопротивление на своих резонансных частотах, которое не влияет на работу контура; его частота резонанса совпадает с частотой резонанса линии. Аналогично (как и с линией, включенной последовательно в контур) по вносимому реактивному сопротивлению параллельно подключенной к контуру половолновой линией можно судить о том, нуждается ли она в укорочении или в удлинении.

Подобный метод определения электрической длины применим как к коаксиальным кабелям, так и к открытым линиям передачи.

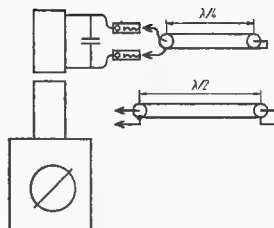


Рис. 15.6. Определение резонанса линии в диапазоне УКВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

При помощи ГИР можно *определить резонансные частоты радиолубительских антенн*. Стоит заметить, что такие измерения нельзя считать достаточно достоверными, и, *определив резонанс антенны с помощью ГИР, затем необходимо произвести дополнительные измерения параметров антенны, используя для этого, например, высокочастотный мост или КСВ-метр.*

Если длина линии передачи до антенны кратна $\lambda/2$, то можно определить резонанс антенны, связав петлей связи линию передачи, идущую от антенны, с катушкой ГИР. Для уменьшения погрешности измерений необходимо петлю связи замкнуть через резистор сопротивлением, равным волновому сопротивлению линии передачи (рис. 15.7). Таким способом можно измерить только резонансные антенны. Широкополосные и нерезонансные антенны тестировать этим методом нельзя, поскольку эти антенны производят «отсос» энергии от контура ГИР во всей полосе их работы, что часто не дает возможности судить об эффективности работы антенны.

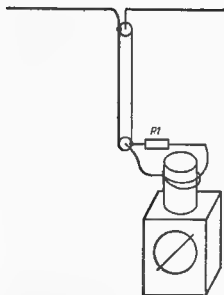


Рис. 15.7. Определение резонанса антенны через ее кабель питания

Для устранения погрешности, связанной с кабелем идущим до антенны, измерение резонансных частот антенны желательно проводить непосредственно на ней и на месте ее окончательной установки. Основная трудность при этом заключается в том, что полотно антенны при сильной связи с прибором вносит расстройку в контур ГИР. В результате его показания частоты резонанса приблизительны. Для получения точных показаний необходимо пользоваться частотомером. При проведении измерений на крыше, непосредственно на антенне, это должен быть частотомер с питанием от батарей. Сейчас продаются такие недорогие портативные частотомеры и проблем с их приобретением возникнуть не должно. При проведении измерений антенна петлей связи соединяется с контуром ГИР, как показано на рис. 15.8. Максимальный «отсос» энергии происходит в пучности распределения тока в антенне, поэтому петля должна располагаться в этом месте. Практически все кабельные антенны питаются в пучности тока, поэтому петля связи с контуром ГИР подключается в месте подключения кабеля к антенне. Такой способ позволяет определить резонанс практически любых антенн с кабельным питанием, расположив в месте подключения кабеля петлю связи.



Рис. 15.8. Непосредственное определение резонанса антенны

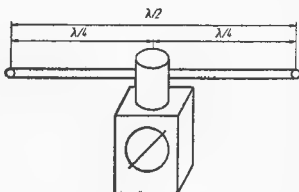


Рис. 15.9. Размещение катушки ГИР в пучности тока антенны

Но в некоторых случаях такой способ определения резонанса антенн неприемлем. Например, иногда необходимо определить частоты настройки неразрывных элементов вибраторных антенн, которые выполнены целиком из трубок. Определение резонанса заземленных штыревых антенн с гамма питанием, антенн DRR, магнитных рамок, петлевых антенн диапазона 50...144 МГц с питанием через гамма согла-

сование и выполненных из трубок как показано на рис. 15.8, ведет к большой погрешности или невозможно. В этом случае необходимо определять резонанс непосредственно антенной системы. Наибольшая трудность при этом состоит в том, чтобы связать магнитные поля катушки ГИР и измеряемой антенны. Как показывает опыт, не всегда размещение катушки ГИР непосредственно в месте пучности тока вибратора (рис. 15.9) позволяет осуществить надежную связь контура ГИР с антенной и срыв его колебаний или «отсос» энергии, который можно зарегистрировать.

Для таких измерений целесообразно изготовить открытые рамочные катушки, состоящие из 5...50 витков и имеющие диаметр 10...20 см, как показано на рис. 15.10. Эти катушки необходимо настроить на частоты, на которых происходит настройка антенны. Рекомендации по применению таких контуров приведены в [1]. Не составит труда выполнить их экспериментально, даже при некотором усердии в их выполнении можно сохранить шкалы «старых» контуров ГИР. После настройки катушек на необходимый диапазон работы их витки необходимо закрепить с помощью изолянты. Следует учесть, что такие катушки сильно подвержены расстройке со стороны элементов антенны, резонансные частоты которых определяют. Поэтому при проведении процесса измерений необходимо контролировать частоту настройки ГИР частотомером или приемником. Магнитное поле таких катушек велико, что позволяет с их помощью определять частоты любых антенн и пассивных элементов направленных антенн.

При использовании рамочных катушек можно определить резонансные частоты элементов конструкции антенны. Это могут быть оттяжки (рис. 15.11), металлические мачты (рис. 15.12), траверсы (рис. 15.13), а также посторонние металлические предметы, окружающие антенну. Если частоты резонансов этих элементов совпадают с частотами работы радиолюбительского передатчика, то необходимо это явление устранить любыми известными методами. Оттяжки можно «разбить» изоляторами, для мачт и траверс принять меры для понижения добротности или сдвинуть их резонанс за пределы любительского диапазона. Резонанс оттяжек определяют в их геометрическом центре, как показано на рис. 15.11.

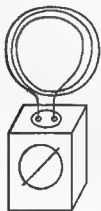


Рис. 15.10. Рамочные катушки ГИР

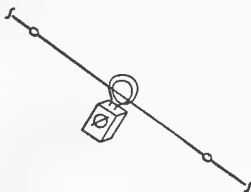


Рис. 15.11. Определение резонанса оттяжек

Резонанс антенных мачт определяют в основании, как показано на рис. 15.12, резонанс траверс определяют в центре, как показано на рис. 15.13. Наличие резонансных частот в других местах хоть и неприятно, особенно если они лежат в любительских диапазонах, но не так опасно, как в случае их нахождения в местах, показанных на рис. 15.11–15.13. Резонансные частоты, обнаруженные в других местах, как правило, являются гармониками более нижней резонансной частоты системы и не влияют сильно на работу антенной системы, так как обычно лежат далеко за пределами частотного диапазона работы антенны.

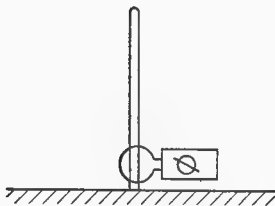


Рис. 15.12. Определение резонанса мачт

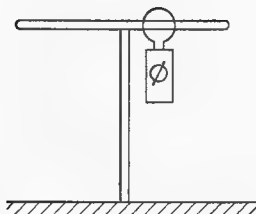


Рис. 15.13. Определение резонанса траверс

Используя подобные методы, можно определить резонансы системы коаксиальный кабель—антенна. Для этого кабель обязательно подключают к трансиверу, с которым он используется, а затем, применяя рамочные катушки, пытаются определить резонансы системы по длине кабеля. Если система действительно резонирует, то обычно удается найти эти резонансы, а затем при совпадении резонансных частот с частотами работы передатчика или его наиболее мощных гармоник, устранить паразитные резонансы изменением длины кабеля или надев на кабель ферритовые кольца в нескольких местах. Следует напомнить, что наличие резонансов фидерной системы на диапазонах работы антенны приводит к антенному эффекту кабеля.

ВЫБОР СХЕМЫ ГИР

Следует признать, что лучшие ГИР — промышленного изготовления. Это немецкие и чехословацкие («Тесловские») ламповые ГИР выпуска середины 50-х — начала 60-х годов. Можно сказать, что хорошо работают некоторые экземпляры отечественного транзисторного «ГИР радиолубителя» выпуска середины 70-х годов. Одно время списанные ламповые ГИР можно было недорого приобрести в радиомагазинах. Сейчас они уже реже встречаются, но есть еще «ГИР радиолубителя». Если приобрести промышленный ГИР не удастся, то вполне возможно его изготовить самому. Качественно выполненный самодельный ГИР работает не хуже промышленного, а изготовленный на транзисторах, может иметь небольшие размеры и питаться от батарей, что очень удобно при проведении измерений на крышах или в полевых



Рис. 15.14. Сменные блоки катушек с индивидуальной шкалой

условиях. Для такого прибора как ГИР важным является удобство работы с ним. Это предусматривает использование верньера совместно с конденсатором настройки, что дает возможность главного подхода к резонансу. Необходимо предусмотреть выход на частотомер для контроля частоты работы прибора. В самодельном приборе желательны регулировка «мягкого» подхода к генерации и регулировка чувствительности измерительного прибора.

При конструировании ГИР можно предусмотреть общую шкалу для всех частот или калибровать шкалу в условных единицах (для ее изготовления можно использовать школьный транспортир), и пользоваться таблицей перевода единиц шкалы в частоту при измерениях на соответствующих диапазонах. Очень хороший вариант — выполнение сменных катушек со своим лимбом частоты, как показано на рис. 15.14. К сожалению, это усложняет конструкцию ГИР и делает громоздкими сменные блоки.

Если радиолюбитель предполагает использовать ГИР только дома, или он может обеспечить сетевое питание ГИР на крыше, то лучше использовать ламповый ГИР. Из всех активных элементов только электронная лампа обеспечивает мягкое самовозбуждение, что позволяет простыми методами добиться высокой чувствительности прибора при проведении измерений. Его генерируемой мощности, тем не менее, хватает для питания антенного измерительного моста. При использовании даже простых методов регистрации можно достичь высокой чувствительности прибора. Ламповый ГИР имеет лишь один недостаток — высокое напряжение питания. Если для питания анодных цепей изготовить маломощный транзисторный высоковольтный преобразователь, этот недостаток может быть легко устранен.

Если предполагается, что ГИР будет использоваться на крышах, в экспедициях где необходимо его автономное питание, то лучше сконструировать ГИР, в котором генератор будет собран на полевом транзисторе. Как показывает опыт, нет разницы на каком типе полевого транзистора собран генератор ГИР: на транзисторах с изолированным затвором или на канальных транзисторах. Более того, на канальных полевых транзисторах чаще достигаются высокие результаты простыми методами. Очень интересная разновидность схемы на полевых транзисторах — аналоге λ -диода. При низком напряжении питания (3 В) и небольшом токе потребления можно достичь высоких результатов. Недостатком таких ГИР является относительно низкая предельная частота их работы, в лучшем случае не превышающая 15 МГц. Это обусловлено низкими частотными свойствами отечественного полевого транзистора КП103М, используемого в аналоге λ -диода. Применяя импортные полевые транзисторы, частоту работы ГИР можно повысить до 30...60 МГц.

Радиолюбители, которые собирали ГИР на лампах и полевых транзисторах, отмечают разницу по сравнению с ГИР на биполярных транзисторах. Наиболее подходят для работы в ГИР германиевые транзисторы типов ГТ311, ГТ313. Они обеспечивают высокую чувствительность прибора и «мягкость» подхода к генерации. Неплохие результаты можно получить и используя кремниевые транзисторы с высоким коэффициентом усиления (свыше 500). Для надежной работы на высоких частотах генератора, собранного на биполярных транзисторах, напряжение питания необходимо выше 6 В.

Единственное, что можно с уверенностью рекомендовать радиолюбителям, так это не использовать в генератора ГИР микросхемы. Как показывает опыт, их применение не дает плавного подхода к генерации, надлежащего «отсоса» энергии от контура, вследствие чего не обеспечивается достаточная чувствительность ГИР. В радиолюбительской литературе все-таки можно найти описание ГИР на микросхемах, но эксперименты автора с этими конструкциями не оправдали желаемых надежд на хорошую работу прибора.

ЛАМПОВЫЕ ГИР

Несмотря на кажущееся многообразие ламповых схем ГИР их можно разделить на две группы: первая, в которой генератор собран по схеме емкостной трехточки (рис. 15.15), и вторая — где генератор собран по схеме индуктивной трехточки (рис. 15.16).

Как показывает опыт, лучшие результаты достигаются только в ГИР, имеющих генератор с емкостной трехточкой. Ее основное преимущество — автоматическое регулирование уровня обратной связи по диапазону работы ГИР, в результате чего во всем рабочем диапазоне частот генератор работает в «мягком» режиме и обеспечивается максимальная чувствительность прибора. Катушка $L1$ не имеет отводов, что упрощает ее коммутацию и облегчает настройку генератора ГИР. Катушка не соединяется с «землей» прибора, что тоже положительно сказывается на увеличе-

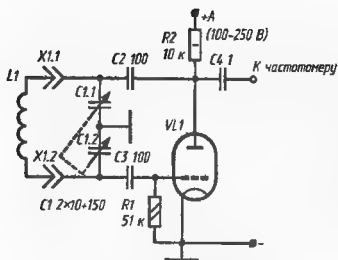


Рис. 15.15. Схема генератора с емкостной трехточкой

ме с емкостной трехточкой необходимо меньшее анодное напряжение питания по сравнению со схемой индуктивной трехточки. Опыт показывает, что уже при напряжении 20 В этот генератор стабильно работает во всем диапазоне частот ГИР. Это важно, если для питания прибора используются батареи или преобразователь напряжения.

Конечно, схема генератора с индуктивной трехточкой тоже имеет право на широкое использование в ГИР. При тщательной настройке она может обеспечить эффективную работу ГИР. При повторении такой схемы необходимо обратить серьезное внимание на подбор отвода от катушки ГИР, так как от этого во многом зависит эффективность работы генератора.

Для работы в генераторах ГИР используют только триоды. Хотя можно использовать тетроды и пентоды, обычно этого не делают. Из-за перераспределения тока между сетками электронной лампы в генераторах на тетродах и пентодах не происходит такого заметного изменения тока сетки при срыве генерации. Использование тетродов и пентодов в триодном включении нецелесообразно из-за снижения крутизны их анодно-сеточной характеристики. Для построения ГИР необходимо использовать триоды с возможно большей крутизной — чем выше крутизна лампы, тем больше изменения сеточного тока при срыве генерации или «отсосе» энергии из контура, тем выше чувствительность прибора.

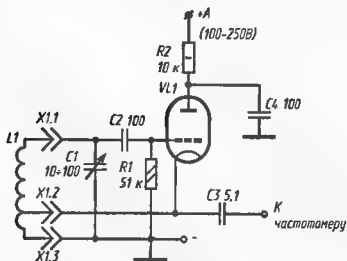


Рис. 15.16. Схема генератора с индуктивной трехточкой

ний его чувствительности. Как показывает опыт, генератор, собранный по схеме с емкостной трехточкой, обеспечивает большую отдаваемую мощность по сравнению с генератором, собранным по схеме с индуктивной трехточкой. Последнее важно, если ГИР будет использоваться для работы с высокочастотным измерительным мостом. Сеточный ток электронной лампы генератора и, следовательно, его изменения, в схеме емкостной трехточки выше, чем в схеме с индуктивной трехточкой, что обеспечивает большую чувствительность прибора. Для возбуждения генератора по схеме

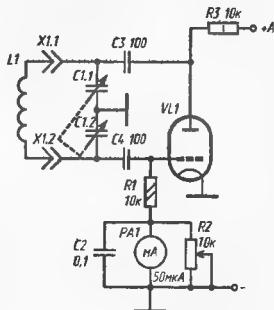


Рис. 15.17. Непосредственное включение микроамперметра в цепь сетки

Для ГИР с анодным напряжением 250 В подойдет лампа 6С1П, для ГИР с низким анодным напряжением — менее 100 В — подойдут триоды 6С2П, 6С3П, 6С4П.

Для индикации срыва генерации в ламповых схемах ГИР целесообразно использовать только индикацию изменения сеточного тока. Следует заметить, что за рубежом ГИР часто называют GDO — gate (grid) dip oscillator или в дословном переводе — генератор с изменяемым током сетки. Наиболее просто регистрацию сеточного тока осуществить включением микроамперметра прямо в цепь сетки, как показано на рис. 15.17.

При использовании высокодобротных катушек и ламп с высокой крутизной для индикации сеточного тока вполне подойдет микроамперметр с пределом измерения тока 50 или даже 100 мкА. При вставлении катушки в гнездо возникает сеточный ток. Его присутствие указывает на наличие генерации в приборе, а по значению этого тока при некотором опыте можно определить добротность катушки, что позволяет использовать ГИР в качестве куметра (измерителя добротности).

Во время измерений вначале резистором $R2$ устанавливают стрелку прибора примерно на 80% делений шкалы. Совпадение резонансных частот катушки ГИР и измеряемой системы очень четко фиксируется по спаду сеточного тока, который может достигать 50% и более при достаточно сильной связи между катушкой ГИР и измеряемой резонансной системой. Приборы с непосредственным измерением сеточного тока обеспечивают наиболее достоверные показания и могут быть рекомендованы к применению радиолюбителями. Используя миниатюрные триоды (нувиситоры), например типа 6С52Н, можно сконструировать малогабаритный ГИР с батарейным питанием, способный обеспечить проведение измерений на крышах домов и в полевых условиях.

Если в распоряжении радиолюбителя нет высокочувствительного микроамперметра, можно использовать схему с услителем тока сетки. Типичная схема такого ГИР показана на рис. 15.18. В нем можно использовать измерительный прибор чувствительностью 500...1000 мкА. Можно использовать также прибор с нулем посередине, хотя и не обязательно. В начале измерений (без катушки) стрелку измерительного прибора устанавливают на «нуль», затем вставляют катушку соответствующего диапазона работы ГИР. В случае появления генерации стрелка прибора отклоняется. При необходимости регулируют чувствительность прибора переменным резистором. Работа с этим ГИР не отличается от работы с ГИР, где непосредственно индицируется сеточный ток, хотя здесь иногда возможно «прыгание» стрелки прибора при переключении катушек. Чувствительность этого ГИР достаточно высока и позволяет получать достоверные результаты при измерениях. В схеме ГИР можно использовать лампы типов 6Н1П, 6Н3П, 6Н14П, 6Н16Б.

При самостоятельном изготовлении ГИР желательно использовать керамические октальные панельки для переключения сменных катушек. Поскольку потребление тока ГИР невелико, то для его питания можно использовать малогабаритный сетевой трансформатор. Для схемы ГИР с емкостной трехточкой можно использовать и бестрансформаторное пита-

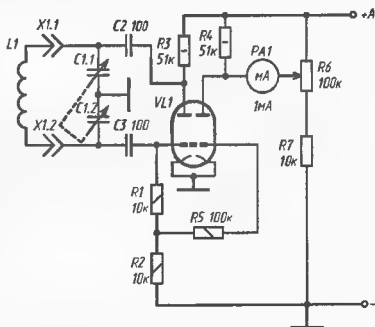


Рис. 15.18. Схема ГИР с услителем тока сетки

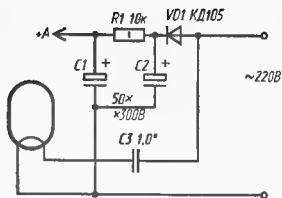


Рис. 15.19. Схема ГИР с бестрансформаторным питанием

блюдается наибольшая чувствительность прибора. Проще это сделать, регулируя анодное напряжение на генераторе с помощью переменного резистора.

В табл. 15.1 приведены данные катушек для генератора, схема которого показана на рис. 15.15, при максимальной емкости секций переменного конденсатора 150 пФ. Эти же катушки подойдут и для генератора, схема которого показана на рис. 15.16. Отвод осуществляется примерно от трети-четверти витков катушки, считая от заземленного конца.

Таблица 15.1

ТИПИЧНЫЕ ДАННЫЕ КАТУШЕК ГИР

Диапазон, МГц	Число витков	Длина намотки, мм	Тип провода
1,0...2,0	150	25	ПЭЛ-0,1
2,0...3,8	70	15	ПЭЛ-0,12
3,7...6,7	45	9	ПЭЛ-0,2
6,6...12,5	16	7	ПЭЛ-0,4
12,5...25	12	14	ПЭЛ-1,0
25...50	5	12	ПЭЛ-1,0
40...110	2	4	ПЭЛ-2,0

ГИР НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Схемотехника построения генераторов, используемых в ГИР на полевых транзисторах и электронных лампах, практически не отличается. Затвор транзистора играет роль сетки, сток — анода, а исток — катода.

Схема транзисторного генератора с емкостной трехточкой показана на рис. 15.20, с индуктивной трехточкой — на рис. 15.21.

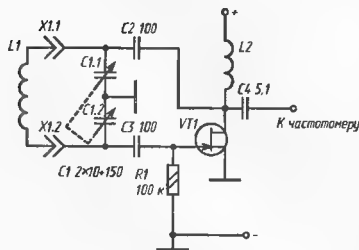


Рис. 15.20. Схема генератора с емкостной трехточкой

Все, что касалось характеристик генераторов, собранных на лампах, верно и для генераторов, собранных на полевых транзисторах. Но в схеме емкостной трехточки на полевом транзисторе есть небольшая датель, на которую следует обратить внимание. В стоке транзистора используется дроссель, его индуктивность должна быть по крайней мере в 3 раза выше индуктивности катушки ГИР на низшем рабочем диапазоне генератора. В то же время, этот дроссель

не должен иметь паразитных резонансов, лежащих в области рабочих частот генератора. Часто для уменьшения добротности дросселя последовательно с ним включают резистор сопротивлением 100...300 Ом. В генераторе с индуктивной трехточкой такой проблемы нет, но он работает несколько хуже и чувствительность ГИР, в котором он используется, ниже чем в ГИР, в котором используется генератор с емкостной трехточкой.

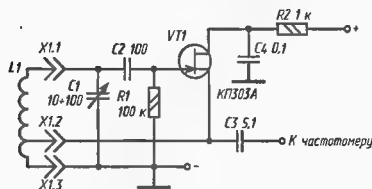


Рис. 15.21. Схема генератора с индуктивной трехточкой

Индикация срыва колебаний в ГИР на полевом транзисторе более сложна, так как токи, протекающие в транзисторах, невысоки. Наиболее простой способ индикации тока затвора показан на рис. 15.22. Одна особенность — здесь используется микроамперметр на 50 мкА. Регистрируя ток затвора, можно уверенно определять резонанс контуров на частотах до 20 МГц. На более высоких диапазонах работы генератора значение тока затвора уменьшается, что приводит в конечном итоге к снижению чувствительности прибора.

Часто используется мостовая схема определения срыва генерации, показанная на рис. 15.23. В этой схеме можно использовать микроамперметр чувствительность до 500 мкА. В начале измерений (без включения катушки в ГИР) с помощью переменного резистора стрелку прибора устанавливают на «нуль». Затем включают катушку. Чем сильнее отклоняется стрелка, тем выше уровень генерации и, следовательно, больше изменение тока стока транзистора.

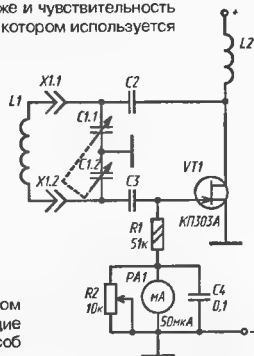


Рис. 15.22. Индикация тока затвора

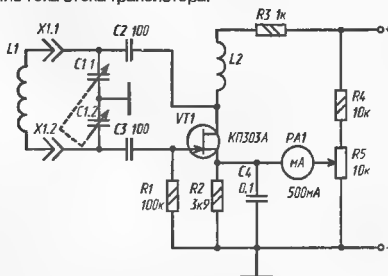


Рис. 15.23. Мостовая схема срыва генерации

В режиме генерации стрелку вначале устанавливают примерно на 80% шкалы показаний прибора. При измерениях ток прибора может изменяться от максимальных первоначальных показаний до 60% и даже может происходить скачкообразный срыв генерации.

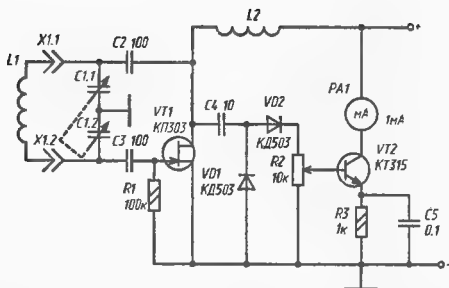


Рис. 15.24. Индикация резонанса по высокочастотному напряжению в схеме емкостной трехточки

Еще один из распространенных методов определения «отсоса» энергии — это непосредственное измерение уровня высокочастотного напряжения на контуре. Обычно для схемы емкостной трехточки измерение проводят согласно рис. 15.24, а для схемы индуктивной трехточки — согласно рис. 15.25. При использовании этих схем можно также определять резонансные частоты измеряемых ГИР систем с достаточной точностью. Но в этих схемах приходится все время вращать ось переменного резистора регулировки чувствительности, так как уровень высокочастотного напряжения на контуре сильно зависит от положения переменного конденсатора и сама конденсаторная связь высокочастотного детектора имеет зависимость уровня напряжения от частоты.

В генераторах на лампах для связи с частотомером вполне можно использовать конденсаторы емкостью 1...2 пФ. В транзисторных генераторах при таких емкостях часто не удается получить уверенную регистрацию значения частоты генерации. В этом случае целесообразно использовать простейший однотранзисторный усилитель высокой частоты, выполненный по любой известной схеме. Этот усилитель будет олужить буфером между генератором и частотомером, что снизит влияние частотомера на частоту генерации. Генераторы, схемы которых приведены на рис. 15.20 и 15.21, в зависимости от типа транзистора работают на частотах до 100 МГц. В генераторах можно использовать конструкции катушек, данные которых приведены в табл. 15.1.

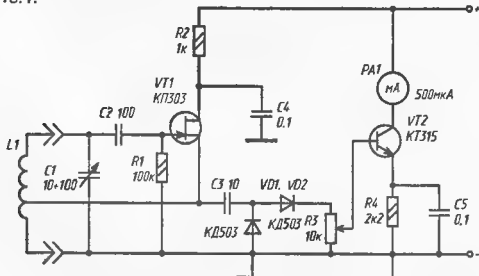


Рис. 15.25. Индикация резонанса по высокочастотному напряжению в схеме индуктивной трехточки

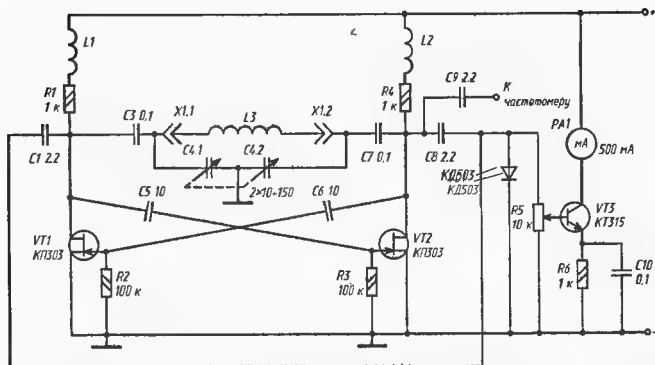


Рис. 15.26. Двухтактная схема генератора

В генераторе ГИР можно применить двухтактную схему на полевых транзисторах, которая приведена на рис. 15.26. Особенностью этой схемы является повышенный уровень выходного высокочастотного напряжения, что позволяет использовать его для питания высокочастотных мостов. В зависимости от типа транзисторов генератор может работать на частотах до 300...500 МГц. К преимуществам этого генератора относится то, что его катушка не связана с «землей» и электрически изолирована от схемы. Вследствие высокого уровня высокочастотного напряжения на контуре для контроля частоты можно не использовать буферный усилитель высокой частоты. Генератор хорошо работает с катушками, параметры которых приведены в табл. 15.1. Индуктивности дросселей $L1$ и $L2$ должны быть не менее чем в 3 раза выше индуктивности катушки ГИР, используемой на нижнем рабочем диапазоне. Для индикации высокочастотного напряжения можно использовать измерительный прибор с максимальным током отклонения 1 мА. Этот генератор целесообразно питать напряжением от 9 до 12 В для получения уровня мощности, необходимого для работы с высокочастотным мостом.

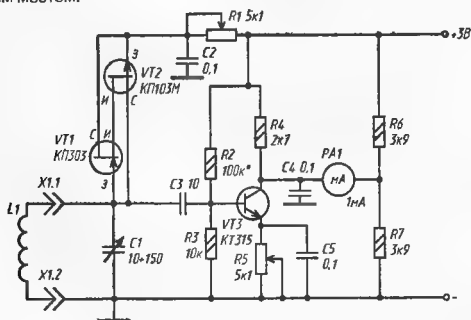


Рис. 15.27. Схема генератора на λ -диоде

Неплохо работает ГИР, а генераторе которого используется аналог λ -диода. Схема такого генератора приведена на рис. 15.27. Ее преимуществом является низкое напряжение питания — 3 В. При помощи переменного резистора $R1$ устанавливают оптимальный режим самовозбуждения. Амплитуда генерируемых колебаний невысока, поэтому для контроля частоты частотомером необходимо использовать буферный усилитель ВЧ, а для индикации срыва колебаний желательно использовать мостовую схему измерения. Чувствительность измерительного прибора может быть в пределах 500 мкА. Для генератора желательно подобрать полевые транзисторы по одинаковому начальному току стока. От транзистора VT2 зависит способность генератора работать на высоких частотах. С отечественным транзистором типа КП103М можно достичь предельной частоты генерации близкой к 14 МГц. Используя импортные высокочастотные полевые транзисторы, этот частотный интервал можно значительно расширить.

В генераторе можно использовать катушки, данные которых приведены в табл. 15.1. ГИР, в котором используется генератор на аналоге λ -диода, обладает большой чувствительностью и экономичностью.

В заключение следует отметить, что для обеспечения стабильности измерения ГИР на полевых транзисторах следует питать только от источника стабильного напряжения. Для этого можно использовать простейшие параметрические стабилизаторы напряжения. Генераторы на транзисторах более сильно подвержены и температурному влиянию.

При возможности, для работы в генераторе ГИР необходимо отобрать транзисторы с наиболее высокой крутизной характеристики.

ГИР НА МИКРОСХЕМАХ И БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Большим соблазном для радиолюбителя являются попытки использовать в схемах ГИР специализированные микросхемы, имеющие в своем составе генератор или позволяющие его реализовать схемотехническими приемами. Обычно используют микросхемы, предназначенные для работы в гетеродинах приемников, или ком-

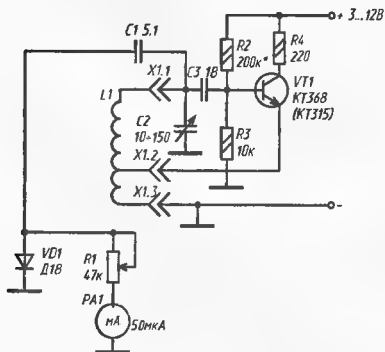


Рис. 15.28. Схема генератора на биполярном транзисторе

бинированные микросхемы, содержащие и каскады УПЧ. Используют и транзисторные сборки, содержащие несколько идентичных транзисторов. Автор провел эксперименты с различными микросхемами в генераторах ГИР, но не получил удовлетворительных результатов, которые позволили бы рекомендовать их для использования в схемах ГИР. Генераторы, собранные на микросхемах, имеют небольшую амплитуду колебаний. Автоматические схемы регулировки усиления, расположенные внутри микросхемы, пытаются поддерживать постоянный уровень колебаний генератора, что затрудняет индикацию срыва колебаний. Генераторы

на микросхемах все еще не обеспечивают работу в широкой полосе частот — от сотен килогерц до сотен мегагерц. Таким образом, остается только надеяться на появление в скором будущем микросхем, которые смогут работать в схемах ГИР.

Что касается ГИР на биполярных транзисторах, то следует признать, что существуют схемы генераторов, способные обеспечить «мягкое» возбуждение, следовательно, и высокую чувствительность ГИР, и работающие в широком диапазоне частот. Но эти схемы достаточно сложны и их нельзя рекомендовать для повторения радиолюбителям.

Гораздо проще в настоящее время использовать в генераторе ГИР полевой транзистор и простыми путями получить высокие результаты. Только в целях экспериментов можно порекомендовать генераторы с индуктивной трехточкой. Схема такого генератора приведена на рис. 15.28. На этой же схеме показана возможность регистрации резонанса измеряемой цепи по уровню высокочастотного напряжения на контуре. Как отмечалось ранее, такая регистрация изменения высокочастотного напряжения имеет свои недостатки. Во-первых, наблюдается частотная зависимость показаний прибора, во-вторых, на высокочастотных диапазонах не всегда возможна уверенная регистрация резонанса. Генератор может быть использован на частотах до 60 МГц. В индикаторе необходимо использовать микроамперметр чувствительностью не более 100 мкА.

Более предпочтительна мостовая схема регистрации срыва колебаний (рис. 15.29). Ее регулировку проводят описанными выше способами. В этой схеме можно использовать измерительный прибор чувствительностью от 500 мкА и более.

В схемах генераторов можно использовать транзисторы типа ГТ311, ГТ313. С худшими результатами будут работать транзисторы типов П401, П403, П416.

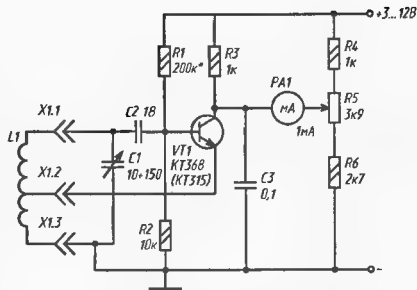


Рис. 15.29. Схема индикатора резонанса с помощью моста

ГЛАВА 16

ИЗМЕРИТЕЛЬ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В НАСТРОЙКЕ АНТЕНН

При экспериментах и настройке различных антенн — как суррогатных с неизвестной начальной частотой резонанса, так и настроенных на заранее определенные частоты, большую помощь может оказать любой прибор из серии измерителей АЧХ, от древнего Х1-1А до современного Х1-50. Эти приборы имеют калиброванные шкалы обзора частот и можно сразу определить резонансные частоты антенны во всем КВ диапазоне, а затем «растянуть» резонансный участок в необходимой полосе частот для обзора амплитудно-частотной характеристики антенны.

Антенну следует подключать к ИЧХ согласно рис. 16.1. Выход внутреннего генератора 50 или 75 Ом оказывается согласованным с нагрузкой с помощью резисторе *R1*. Резистор *R2* практически устраняет влияние антенны на выходное напряжение генератора прибора, что позволяет получить практически линейное сканирование АЧХ антенны независимо от частоты перестройки прибора и входного сопротивления антенны на данной частоте. Переменным резистором *R3* устанавливают режим согласованной нагрузки системы кабель—антенна. Он будет при минимуме искажений а АЧХ антенны, которая отображается на экране прибора.

На рис. 16.2 показан вид частотной характеристики антенны типа «дельта» для диапазона 20 м. Характеристика 1 соответствует несогласованной нагрузке, подключенной к антенно-фидерной системе,— значение переменного сопротивления 300 Ом, а характеристика 2 соответствует согласованной антенне, сопротивление *R3* при этом составило 80 Ом. При измерении характеристики антенн, особенно находящихся на небольшой высоте над землей, необходимо подключать к прибору как антенну, так и всю заземляющую систему, используемую на радиостанции при работе совместно с испытуемой антенной, которая часто входит в состав антенной системы и играет большую роль в формировании ее параметров.

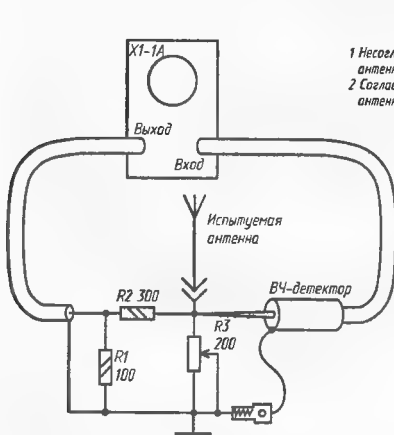


Рис. 16.1. Схема измерения АЧХ антенны

1 Несогласованная антенна.
2 Согласованная антенна

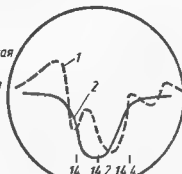


Рис. 18.2. Вид АЧХ антенны на экране прибора

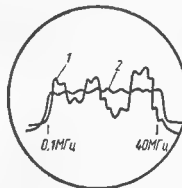


Рис. 16.3. Частотная характеристика антенны Бевереджа

На рис. 16.3 показана характеристика антенны Бевереджа с питанием посредством коаксиального кабеля 50 Ом, согласованную с помощью трансформатора 1:6 и имеющую нагрузку на своем конце 300 Ом. Характеристика 1 снята при несогласованной нагрузке антенны, а характеристика 2 — при согласованной. Как видно из характеристик антенны Бевереджа, согласованная антенна имеет практически линейную АЧХ, ограниченную по частоте сверху и снизу только полосой пропускания антенного трансформатора.

МОСТОВЫЕ СХЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ АЧХ

Схема измерения АЧХ антенны, приведенная на рис. 16.1, имеет хорошую широкополосность — от минимальной до максимальной частоты работы измерителя частотных характеристик при компактном монтаже схемы и малогабаритном переменном резисторе.

Если радиолюбитель планирует проводить измерения лишь в диапазоне частот 1,8...30 МГц, то можно использовать мостовую схему измерения, приведенную на рис. 16.4. В этой схеме желательно использовать измерители АЧХ, имеющие чувствительный вход, например типов Х1-19Б, Х1-50.

При измерениях параметров антенны в этой схеме вид ее АЧХ получается очень наглядным. Вследствие этого можно достаточно точно определить входное сопротивление антенны при помощи переменного резистора моста по минимуму на частотной характеристике. Такая схема измерения позволяет увидеть паразитные резонансы антенны, которые схема на рис. 16.1 не отображает или отображает ненаглядно.

Трансформатор Т1 выполнен на ферритовом кольце проницаемостью 400...600, внешним диаметром от 7 до 15 мм. Обмотки намотаны отдельно, каждая на своей половине кольца и содержат по 22 витка провода ПЭЛ-0,1.

Частотный диапазон этой схемы ограничен лишь используемым трансформатором и при более совершенной его конструкции может быть расширен.

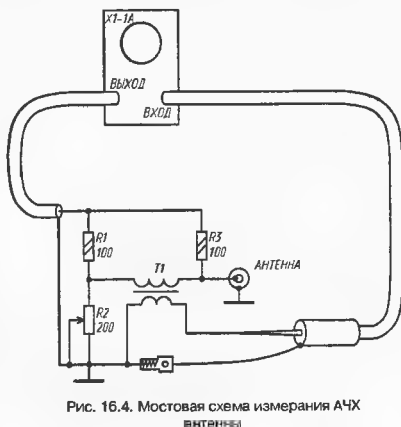


Рис. 16.4. Мостовая схема измерения АЧХ

ОСЦИЛЛОГРАФ — АЧХ-МЕТР

Если в лаборатории радиолюбителя нет измерителя частотных характеристик, то с помощью несложных приспособлений для этого можно использовать обычный осциллограф.

От развертки осциллографа необходимо взять пилообразное напряжение для генератора качающейся частоты, что несложно сделать. Некоторые профессиональные осциллографы имеют выход пилообразного напряжения, что еще более упрощает дело. Структурная схема устройства показана на рис. 16.5. Генератор 1, перестраиваемый пилообразным напряжением от осциллографа 2, обеспечивает обзор частоты в пределах любительских или других диапазонов из

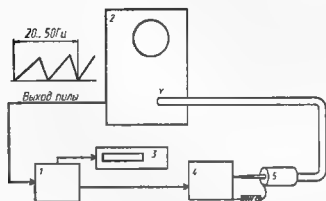


Рис. 16.5. Вариант использования осциллографа в качестве измерителя АЧХ

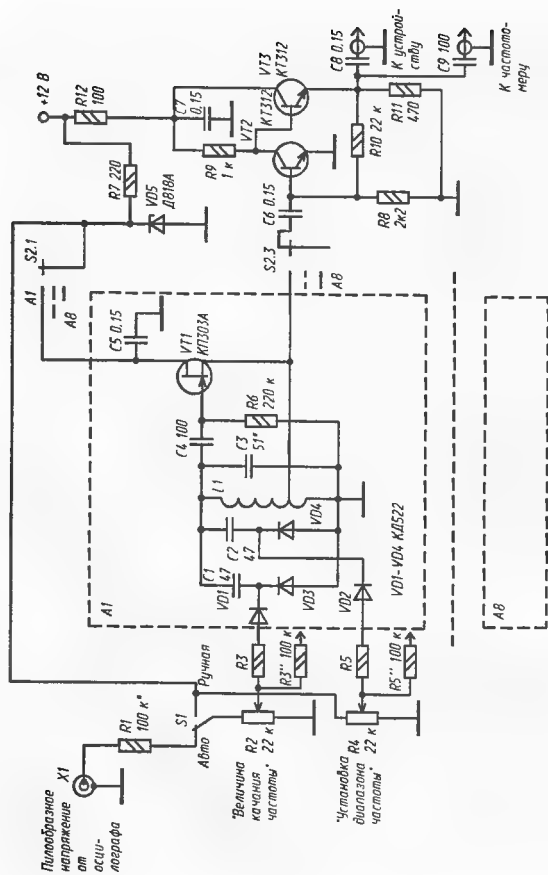


Рис. 16.6. Схема перестраиваемого генератора

мерений. Частота генератора контролируется частотомером 3 в фиксированных точках начала и конца частотной шкалы обзора. Изменяющееся по частоте высоко-частотное напряжение подается на испытуемое устройство 4, которое аналогично приведенным на рис. 16.1, 16.4 или может отличаться от них.

Высокочастотная детекторная головка 5 регистрирует изменение выходного напряжения устройства, которое отображается на экране осциллографа. Разберем работу отдельных частей измерителя. Схема перестраиваемого генератора приведена на рис. 16.6.

Здесь показана схема генератора для работы на одном любительском диапазоне; для других диапазонов работы его схема аналогична приведенной. Через резистор *R1* подается положительное пилообразное напряжение на резистор *R2*, обеспечивающий глубину «качания» частоты. Резистором *R1* необходимо добиться того, чтобы максимум пилообразного напряжения был равен напряжению питания варикапа генератора, что необходимо для осуществления контроля частоты генератора частотомером. Установить одинаковые напряжения можно с помощью того же осциллографа. Контроль частоты осуществляется с помощью тумблера *S1*. Его включение в правое положение будет соответствовать верхней частоте работы генератора (при неизменном впоследствии положении движка *R2*), а при переводе движка резистора *R2* в крайнее нижнее положение частотомер фиксирует нижнюю рабочую частоту генератора. С помощью резистора *R2* устанавливаются границы частоты качания. Измерение частотомером происходит на фиксированных краях диапазонов, но при включении пилообразного напряжения на *R2* вместо постоянного напряжения эти края совпадут с фиксированными. Значения частот на экране осциллографа можно определить приблизительно с достаточной для радилюбительских целей точностью по рискам шкалы экрана. При наблюдении выбирают частоту развертки в пределах 20...50Гц. На этих частотах еще не видно мелькания луча и а то же время не проявляются переходные процессы при перестройке генератора.

Конденсатор *C4* желательно подобрать индивидуально на каждом диапазоне работы по максимальному выходному напряжению и по минимальному изменению частоты генератора при подключении внешних устройств. Конструктивные данные катушек генератора приведены в табл. 16.1.

Таблица 16.1

КОНСТРУКТИВНЫЕ ДАННЫЕ КАТУШЕК ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ГЕНЕРАТОРА

Диапазон, МГц	Индуктивность, мкГн	Диаметр, мм	Длина намотки, мм	Число витков	Тип провода
1,9	80	20	20	100	ПЭЛ-0,15
3,5	35	20	20	50	ПЭЛ-0,3
7	10	20	25	30	ПЭЛ-0,8
10	5	20	20	20	ПЭЛ-0,8
14	2,2	20	22	12	ПЭЛ-1,0
18	1,5	20	18	10	ПЭЛ-1,0
21...24	0,8	20	15	8	ПЭЛ-1,0
26...30	0,6	20	20	8	ПЭЛ-1,0

Схема высокочастотного детектора приведена на рис. 16.7. Если радилюбитель сможет достать генератор управляемый напряжением (ГУН) от промышленной УКВ радиостанции (например «Маяк» или «YAESU»), то можно осуществить обзор АЧХ антенн в УКВ диапазонах.

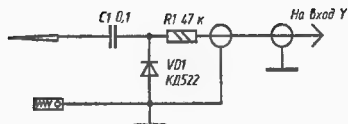


Рис. 16.7. Схема высокочастотного детектора

С помощью этого прибора можно не только настраивать антенны, но и снимать АЧХ любых радиолюбительских устройств — кварцевых фильтров ФСС и трактов ПЧ приемников. Необходимо обратить внимание, что вследствие невысокого выходного напряжения усилителя частотная характеристика пассивных устройств на экране осциллографа будет искажена; в области малых значений она будет выглядеть лучше, чем есть на самом деле. Для антенных измерений, где важна качественная характеристика, это неважно. Для измерения амплитудно-частотных характеристик фильтров возможно придется добавить еще один каскад усиления напряжения высокой частоты.

СОГЛАСУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

В прежние годы радиолюбители использовали для работы в эфире преимущественно ламповую аппаратуру. Особенно часто лампы использовались для выходных каскадов усилителей мощности. Естественно, что ламповый каскад можно было согласовать практически с любой антенной. Ламповый выходной каскад дает меньший уровень радиопомех по сравнению с транзисторными выходными каскадами. В современных радиостанциях выходные каскады одноктактных или двухтактных усилителей мощности построены на мощных транзисторах. Уменьшение тока покоя этих транзисторов приводит к появлению сильных помех телевидению при работе радиостанции.

Транзисторы образуют гораздо больший спектр гармоник по сравнению с лампами. И часто одиночный фильтр на выходе транзисторного усилителя не справляется с подавлением гармоник и не обеспечивает соответствующего согласования антенны. Это особенно заметно проявляется если передатчик работает на несогласованную антенну.

В городских условиях особенно трудно иметь на каждый диапазон свою хорошую резонансную антенну по причине отсутствия места для ее установки. Использование широкополосных антенн без соответствующего согласования приводит к плохой работе радиостанции на всех диапазонах. Следовательно, обеспечение согласования антенны становится одной из важных задач.

Ниже описаны согласующие устройства для работы на диапазоне 136 кГц, на всех любительских КВ диапазонах, на СВ диапазоне 27 МГц, на УКВ диапазонах 50 и 144 МГц.

ГЛАВА 17

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ СОГЛАСОВАНИЯ

Согласующее устройство обеспечивает согласование выходного сопротивления передатчика с входным сопротивлением антенно-фидерной системы. Это значит, что использование согласующего устройства позволит передатчику с выходом 50 Ом нормально работать с антенной, входное сопротивление которой в этом рабочем диапазоне не равно выходному сопротивлению усилителя мощности. В этом случае при установке согласующего устройства непосредственно на выходе передатчика обеспечивается нормальный режим его работы. При установке согласующего устройства непосредственно на антенне обеспечивается нормальный режим работы фидерной линии и выходного каскада.

Если используется резонансная антенна, согласованная с линией передачи (коаксиальным кабелем) и применение согласующего устройства резко улучшает работу антенны, то это говорит лишь о том, что выходной каскад передатчика (обычно транзисторный) не согласован с подключенной к нему нагрузкой. Использование согласующего устройства с нерезонансными антеннами дает положительный эффект не только для транзисторных, но и для ламповых выходных каскадов, поскольку улучшит режим работы антенно-фидерной системы.

Использовать согласующее устройство с ламповым усилителем мощности, имеющим П-контур и настраивающие его элементы (катушку и конденсаторы) не всегда

рационально, так как Π -контур обеспечивает согласование в широком диапазоне сопротивлений нагрузки от 10 Ом до 1...2 кОм. Только в некоторых случаях, когда неправильно выбраны элементы Π -контура или они исключают соответствующую подстройку, использование согласующего устройства принесет пользу.

В любом случае согласующее устройство значительно снизит уровень гармоник передатчика, и его использование даже в качестве фильтра помех телевидению вполне оправдано.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОГЛАСУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Схема классического согласующего устройства показана на рис. 17.1. Оно состоит из цепи согласования (matching units — MU), которая выполнена по одной из известных схем (часто она и носит название — согласующее устройство, АТУ). MU позволяет обеспечить согласование сопротивления выходного каскада передатчика с антенно-фидерной системой и является «сердцем» любого АТУ. Входит в АТУ измеритель КСВ, проходящей мощности, иногда ВЧ мост, который показывает степень рассогласования антенны с трансивером. Эквивалент антенны (активная нагрузка $R1$) и контрольные нагрузки $R2, R3$ позволяют провести настройку выходного каскада передатчика без выхода в эфир. Без всего этого окружения согласующее устройство будет всего лишь цепью согласования, не более того.

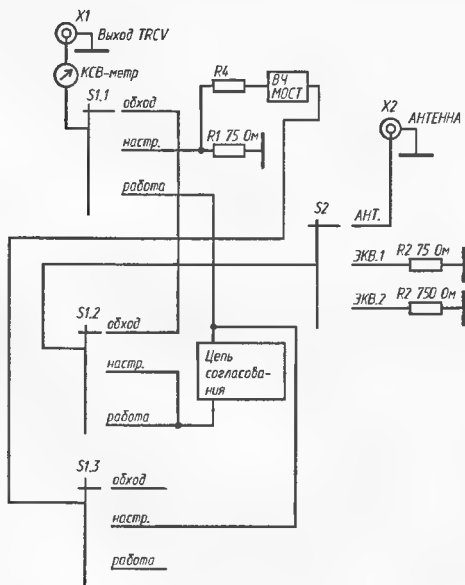


Рис. 17.1. Классическое согласующее устройство

Рассмотрим принцип работы устройства. В положении $S1$ «обход» выход передатчика подключен к $S2$, что дает возможность напрямую подключить антенну, либо включить на выход передатчика фиксированную нагрузку (50 или 600 Ом) и проверить возможность согласования передатчика с ними. В положении «настройка» передатчик работает на согласованную с ним нагрузку.

Если АТУ не предусматривает такой возможности, то это может привести к выходу из строя выходного транзисторного каскада, который во время настройки будет работать на несогласованную с ним нагрузку. Через резистор $R4$ включается ВЧ мост. По показаниям этого прибора цепью согласования производится настройка антенны. Резисторы $R2$ и $R3$ дают возможность проверить, возможна ли с их помощью настройка цепи согласования. Если это возможно, то делают вывод, что возможна настройка и на реальную антенну (хотя некоторые антенны этот вывод отвергают).

Согласовав выход передатчика с антенно-фидерной системой при помощи цепи согласования, включают режим «работа». В этом режиме еще подстраивают цепь согласования по минимуму показаний КСВ-метра. Это необходимо потому, что выходные сопротивления передатчика и выходное сопротивление моста для антенно-фидерной системы не одинаковы.

Как видно из этой схемы, степень согласования будет зависеть только от используемой цепи согласования. Остальное окружение МУ было рассмотрено в других главах книги.

Ниже рассмотрены наиболее часто используемые цепи согласования.

ЦЕПЬ СОГЛАСОВАНИЯ НА ПАРАЛЛЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Рассмотрение цепей согласования начнем с одной из старейших, самых эффективных и простых в изготовлении (рис. 17.2). Эта схема широко использовалась радиолюбителями в прежние годы, а в настоящее время она применяется с модификациями, существенно снижающими ее эффективность. Как видно из рисунка, передатчик подключается через катушку связи $L1$ и конденсатор настройки входа $C1$. Число витков катушки $L1$ составляет от четверти до шестой части от числа витков резонансной катушки $L2$. Наматывается катушка связи $L1$ в нижней ее части. Катушка связи $L1$ должна быть отделена от $L2$ посредством какой либо качественной изоляции. В некоторых вариантах выполнения этой МУ, описанной в литературе, катушки разделены посредством воздуха, причем их конструктивное исполнение в данном случае весьма затруднительно. На наш взгляд это неоправданное усложнение конструкции.

Поскольку передатчик связан с антенной только посредством магнитного потока, то здесь решены многие проблемы. Это абсолютная грозозащита выходного каскада, значительное снижение излучения уровня гармоник.

Конденсатор настройки входа $C1$ для работы на частоте 1,8 МГц должен иметь максимальную емкость 1500 пФ, а для работы на частоте 28 МГц — 500 пФ. В некоторых случаях он не нужен. Для оптимальной настройки антенны необходимо уделить внимание подбору витков катушки связи $L1$. Конденсаторы $C2$ и $C3$ должны иметь максимально возможный зазор между пластинами.

Это устройство хорошо согласует нагрузку от 10 Ом до нескольких килоом с выходом передатчика 50 или 75 Ом. При неизменных параметрах $L1$ и $L2$ это устройство работает с высоким КПД только в двух смежных любии-

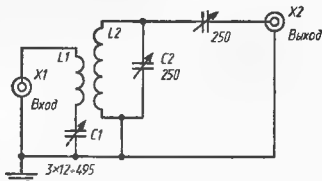


Рис. 17.2. Эффективная цепь согласования

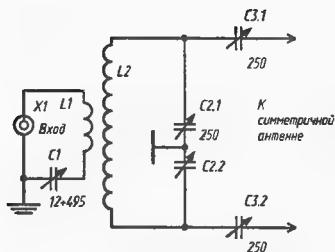


Рис. 17.3. Цепь согласования с симметричным выходом

тельских КВ диапазонах, например 1,8 и 3,5 МГц, 7 и 14 МГц и т. д. При небольших мощностях передатчика (до 100 Вт) наиболее эффективно и просто обеспечить многодиапазонную работу можно сменой катушек $L1$ и $L2$. Для этого целесообразно изготовить комплект сменных катушек и устанавливать их с помощью цокольных панелей от старых радиоламп или какого-либо другого надежного соединителя.

Следует предупредить, что подключение параллельно катушкам $L1$ и $L2$ других катушек для уменьшения индуктивности $L1$ и $L2$ для работы АТУ на ВЧ диапазонах или подключение контурно-

го конденсатора к отводам катушки $L2$ значительно снижает эффективность работы этого устройства на ВЧ диапазонах. А ведь именно там и необходим наибольший КПД, наиболее эффективное подавление гармоник!

Хотя в настоящее время симметричные антенны совместно с симметричным фидером применяются редко, стоит рассмотреть возможность работы этой МУ на симметричную нагрузку (рис. 17.3). Как видно из схемы, показанной на рис. 17.3, она практически не отличается от приведенной на рис. 17.2. Единственное отличие состоит только в том, что высокочастотное напряжение для антенно-фидерной системы снимается симметрично. Это вносит некоторые коррективы в конструкцию МУ. Катушка связи $L1$ должна быть расположена симметрично относительно резонансной катушки $L2$. Конденсаторы $C3.1$ и $C3.2$ должны находиться на одной оси, хотя это условие и не обязательное. Необходимо принять меры по уменьшению влияния металлического корпуса АТУ на контурную катушку $L2$. Для этого она должна быть расположена горизонтально в корпусе или находиться достаточно далеко от металлических стенок корпусов. Особенно неблагоприятно действует переключение отводов катушек в симметричной МУ. Вместо достижения широкополосности работы устройства это часто приведет к рассимметрированию выхода МУ и заметному снижению эффективности работы всего согласующего устройства, где используется этот вариант МУ.

Следует обратить внимание на то, что встречаются конструкции упрощенного варианта МУ. На рис. 17.4 показана схема упрощенной МУ с несимметричным выходом, на рис. 17.5 — схема упрощенной МУ с симметричным выходом.

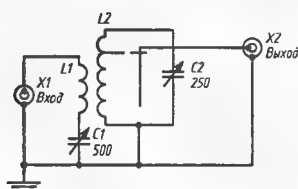


Рис. 17.4. Упрощенная цепь согласования с несимметричным выходом

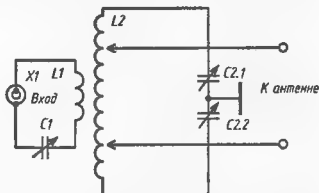


Рис. 17.5. Упрощенная цепь согласования с симметричным выходом

Эти схемы построения МУ можно использовать, если необходимо минимизировать его размеры за счет устранения изолированного от корпуса конденсатора связи с антенной. Но, как показывает опыт, эти схемы не могут дать такого тщательного согласования, как в случае использования классических схем, приведенных на рис. 17.2 или 17.3. Особенно тщательно недо подходит к конструированию многодиапазонных МУ с переключением отводов резонансной катушки (рис. 17.6). За счет снижения добротности катушки, а также неоптимального выбора отводов от катушки и большой емкости отводов на землю КПД такой системы на верхних любительских диапазонах будет низок. Но использование такой упрощенной многодиапазонной системы в нижних любительских ВВ диапазонах 1,8...7 МГц вполне допустимо.

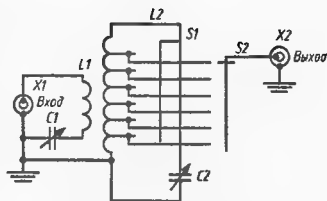


Рис. 17.6. Многодиапазонная цепь согласования

Преимущества базовой МУ, схема которой показана на рис. 17.2, следующие. Не требуется тщательного подбора и изготовления $L1$ и $L2$. Система обеспечивает высокий КПД согласования мощности (до 80%). Настройка осуществляется в основном двумя конденсаторами — $C2$ и $C3$ (рис. 17.2). Недостаток — для достижения высокого КПД согласования необходимо использовать одну катушку на не более чем два смежных диапазона работы. Необходимо использовать по крайней мере один переменный конденсатор, изолированный от корпусов АТУ.

Если необходимо использовать АТУ на один или два диапазона, выбор конечно следует остановить на этом устройстве. Настраивается оно просто. Конденсатор связи с нагрузкой $C1$ устанавливают в максимальное положение (рис. 17.2), контурный конденсатор $C2$ и конденсатор связи с антенной $C3$ — в минимальное. Затем с помощью конденсатора $C2$ настраивают контур в резонанс и потом, увеличивая связь с антенной, с помощью конденсатора $C3$ добиваются максимальной отдачи мощности в антенну. При этом все время подстраивают контурный конденсатор $C2$ и конденсатор связи с нагрузкой $C1$. Следует стремиться к тому, чтобы после настройки МУ емкость конденсатора $C3$ была максимально возможной.

Т-ОБРАЗНАЯ ЦЕПЬ СОГЛАСОВАНИЯ

Эта схема (рис. 17.7) получила широкое распространение среди радиолюбителей в более позднее время, примерно в 50-х годах, когда стали широко использоваться несимметричные кабельные антенны. Внедрению ее в практику радиолюбителей способствовало появление деталей, необходимых для выполнения МУ по Т-образной схеме — катушек с плавной регулировкой индуктивности и переменных конденсаторов с большим зазором между пластинами. Часто в этих конденсаторах применялась керамическая ось для ротора, а статор выполнялся на керамическом основании. Ведь только с этими, довольно дорогими в исполнении деталями, могла хорошо работать эта МУ.

Для нормальной работы МУ необходима плавная регулировка индуктивности. Иногда даже ползетка имеют значение для согласования. Это ограничивает использование катушек с отводами или требует индивидуального подбора витков для конкретной антенны. Необходимо использовать качественные конденсаторы с воздушным или вакуумным диэлектриком, причем зазор между пластинами должен быть не менее 2 мм на 200 Вт подаваемой к АТУ мощности. Использование последовательное включение бытовых двоянных конденсаторов от старых ламповых приемников здесь

нельзя, так как зазор между их пластинами выполнен разпичным и эти конденсаторы часто пробиваются даже при небольшой мощности, подводимой к АТУ. При конструировании необходимо обеспечить, чтобы емкость конденсаторов $C1$ и $C2$ на корпус передатчика была не более 25 пФ, в противном случае возможно снижение КПД на диапазоне 24...28 МГц.

Необходимо, чтобы «холодный» конец катушки $L1$ был тщательно заземлен. Если во время настройки АТУ заземление обеспечено не будет (рис. 17.8), то возможно появление дуги между этим незаземленным концом и корпусом. В таком случае может произойти разрушение каркаса катушки, обгорание соседних витков. Особенно это возможно в случае плохого согласования антенны. Но несмотря на все эти недостатки, схема на рис. 17.7 обладает весьма хорошими параметрами: КПД ее достигает 80% при согласовании 50 и 500 Ом, возможно согласование нагрузки от 10 Ом до нескольких килоом. С помощью только одной переменной индуктивности в 30 мкГн можно перекрыть весь коротковолновый диапазон от 3,5 до 30 МГц. Подключив дополнительно параллельно каждому из переменных конденсаторов $C1$, $C2$ по постоянному конденсатору емкостью в 200 пФ, можно работать на любительском диапазоне 1,8 МГц.

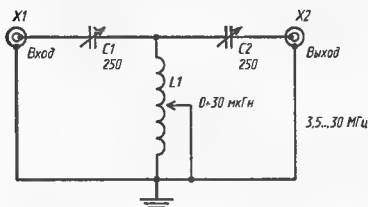


Рис. 17.7. Т-образная цепь согласования

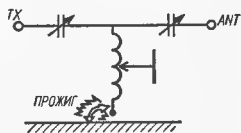


Рис. 17.8. Дуга на незаземленной части катушки

Очень часто катушка переменной индуктивности конструктивно устроена так, что весьма затруднительно обеспечить передачу показаний ее индуктивности на шкалу согласующего устройства, что может иногда привести к его некорректной настройке.

Несколько решить эту проблему смог W3TS, предложивший следующую схему «цифровой» индуктивности (рис. 17.9). Используя такую индуктивность, с помощью переключателей можно весьма наглядно выставить нужное ее значение. При использовании электронных реле и цифровых микросхем можно реализовать принцип переключателя «больше—меньше» с индикацией устанавливаемой индуктивности или выставить сразу необходимое значение индуктивности на рабочем диапазоне согласующего устройства.



Рис. 17.9. «Цифровая» индуктивность

Еще одну попытку упростить конструктивное исполнение катушки индуктивности предприняла фирма АЕА (США), выполнив согласующее устройство как показано на рис. 17.10. Действительно, физически схемы МУ на рис. 17.7 и 17.10 равнозначны. Но конструктивно гораздо проще использовать один заземленный высококачественный конденсатор вместо двух таких же, но изолированных от корпуса, а дорогую ка-

тушку переменной индуктивности заменить дешевыми катушками постоянной индуктивности с отводами.

При испытании МУ с подобной катушкой переменной индуктивности были получены следующие результаты. Согласующее устройство хорошо работало во всех любительских диапазонах от 1,8 до 30 МГц с выходом передатчика 50 Ом на сопротивление нагрузки от 15 до 500 Ом. Но при работе с реальными антеннами иногда сказывалась дискретность переключения индуктивности, в результате чего были точки по диапазонам с повышенным КСВ. При наличии 18, а лучше 22 позиционных переключателей, эту МУ вполне можно рекомендовать к практическому выполнению. При этом необходимо до минимума уменьшить длину отводов катушки к переключателю. Одиннадцатипозиционные переключатели дают возможность сделать МУ для работы только на части любительских диапазонов, например от 1,8 до 7, и от 10 до 28 МГц.

Катушку конструктивно удобно выполнить как показано на рис. 17.11. Каркас ее представляет собой планку из двухстороннего стеклотекстолита с пропилами под

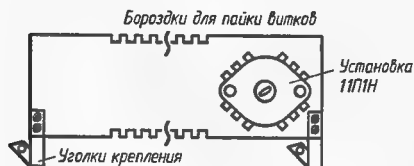


Рис. 17.11. Каркас катушки

Для работы с симметричными антеннами, питающимися через симметричные высокоомные двухпроводные линии совместно с Т-образным согласующим устройством с несимметричным выходом, используют симметрирующий трансформатор 1:4 или 1:6 на выходе МУ. Следует заметить, что его использование нельзя признать эффективным, так как многие симметричные антенны имеют большую реактивную составляющую, которая плохо поддается трансформации. В этом случае необходимо применять меры по компенсации реактивной составляющей на входе двухпроводной линии передачи.

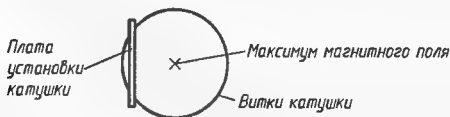
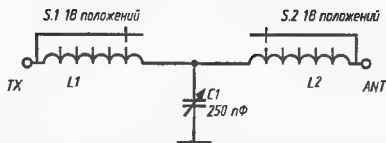


Рис. 17.12. Выполнение катушки АТ



AEA AT-30 TUNER

L1-L2-25 витков $\varnothing$ катушки 45 мм

шаг намотки 4 мм

отводы от каждого витка по длине 10 витков,

затем через 2 витка

Рис. 17.10. Согласующее устройство фирмы AEA (США) АТУ-300

витки катушки. На этой планке установлен переключатель (например 11Н1П). Отводы от катушки идут к первичному переключателю по обеим сторонам стеклотекстолитовой планки. Для уменьшения влияния дорожек отводов на добротность катушки эту планку располагают не в центре катушки, а несколько сбоку (рис. 17.12).

Т-образная схема достаточно эффективно отсекает гармоники (до 10...15 дБ) и достаточно широкополосна, чтобы с небольшой подстройкой работать в одном любительском диапазоне.

П-ОБРАЗНАЯ СХЕМА СОГЛАСОВАНИЯ

П-образная МУ или П-контур (рис. 17.13) давно используется в радиолюбительской практике. В довоенных радиолюбительских журналах можно найти описание согласующих устройств с П-контуром и дискуссии на тему как это все работает. И в настоящее время в радиолюбительской литературе часто встречаются описание принципа работы П-контюра, расчет его элементов.

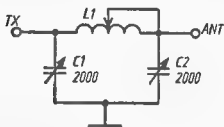


Рис. 17.13. П-образная схема согласования



Рис. 17.14. Г-образная схема согласования

Хорошие результаты дает использование П-контюра на выходе ламповых усилителей, имеющих высокое выходное сопротивление (килоомы). В транзисторных передатчиках, имеющих низкое выходное сопротивление, используют на выходе более сложные МУ. Совсем редко применяют П-контур для построения отдельного согласующего устройства.

В реальных условиях, когда выход транзисторного передатчика составляет 50 Ом, а согласование необходимо провести как низкоомной антенны сопротивлением 15...20 Ом, так и высокоомной сопротивлением 300...500 Ом, параметры П-контюра будут изменяться в десятки раз. Это затрудняет практическую реализацию и настройку АТУ, содержащего МУ на основе П-контюра.

Упрощенным вариантом П-контюра можно считать Г-контур (рис. 17.14). Схемы АТУ, содержащие Г-контур, часто используют для работы с простыми ламповыми и транзисторными трансиверами и для согласования несложных антенн, которые не содержат значительной реактивной составляющей.

И все же, если предполагается работа с транзисторным трансивером, использовать в качестве МУ согласующего устройства П-контур можно. Крайне желательно использовать переменную катушку индуктивности. В случае использования катушки индуктивности с фиксированными отводами, они нуждаются в тщательном подборе для конкретного диапазона работы. Конденсатор C1 может иметь небольшой зазор — 1 мм на 200 Вт. Конденсатор C2 должен иметь как можно больший зазор — не менее 2 мм на 200 Вт, особенно если предполагается работать на высокоомную антенну или случайную нагрузку. Вполне оправдан вариант использования высоковольтного переменного конденсатора емкостью 250 пФ с параллельным ему включением конденсаторов постоянной емкости.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОГЛАСУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Увеличить эффективность работы передатчика, особенно при использовании случайных антенн, поможет устройство, называемое «искусственная земля». Схемы этого устройства (рис. 17.15) давно известны радиолюбителям и неоднократно приво-

дились в различной радиолюбительской литературе. Это устройство эффективно при использовании именно случайных антенн, и при плохом радиотехническом заземлении.



Рис. 17.15. Устройство «искусственная земля»

В случае хороших антенн и хорошей радиотехнической земле возлагать на него больших надежд не следует. Это устройство доводит до резонансного состояния практически любой отрезок провода, используемый в качестве противовеса антенной системы радиостанции и подключенный к ней через устройство «искусственная земля». Также оно может обеспечить максимальную «откачку» высокочастотного тока в систему заземления радиостанции. Все это улучшает взаимодействие токов смещения между антенной и «искусственной землей», повышая эффективность работы антенны, и вследствие этого и согласующего устройства. Так как параметры «земли» входят в параметры антенной системы при расчете ее эффективности, то естественно, что улучшение эффективности «земли» приводит к изменению параметров антенны и может способствовать согласованию антенны.

В качестве проводника-противовеса, подключаемого к устройству «искусственная земля», рекомендуют использовать резонансный четвертьволновый отрезок провода. Однако вполне удовлетворительно работает противовес вдвое—втрое меньшей длины. Это связано с тем, что окружающие металлические предметы изменяют резонансную частоту этого проводника, и его подстройка в резонанс осуществляется устройством «искусственная земля».

Не следует забывать, что на конце противовеса может быть высокое напряжение, которое может вызвать ожог, или прожечь изоляцию, если провод будет находиться близко к металлу. Поэтому необходимо тщательно изолировать конец этого провода.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СОГЛАСУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Имея некоторые навыки, радиолюбитель вполне может построить необходимое ему согласующее устройство. Для облегчения этого процесса ниже приведены необходимые для построения АТУ данные катушек индуктивностей, схемы окружения и рекомендации по наладке.

Схемы КСВ-метра проходящего типа подробно описаны в гл. 11, схемы ВЧ-мостов — в гл. 12.

Остановимся на индикаторе ВЧ-напряжения выхода АТУ, так как его схема построения имеет некоторые особенности по сравнению с ВЧ-вольтметрами, описанными в гл. 7.

Индикатор полезно иметь для измерения ВЧ напряжения на входе и выходе АТУ. Схема простого ВЧ-вольтметра приведена на рис. 17.16. Две аналогичные схемы располагаются непосредственно около гнезд $X1$ и $X2$ (рис. 17.1). При идентичном выполнении ВЧ-вольтметров, и КСВ в антенне не хуже 1,5 их показания в режиме «обход» должны быть практически одинаковыми. Включив трансивер на передачу, через АТУ, включенное в режиме «работа» на согласованную нагрузку $R2$ (рис. 17.1), можно примерно определить КПД АТУ на конкретном диапазоне.

Измерительный прибор целесообразно иметь общим для всех измерительных схем АТУ (ВЧ моста и ВЧ вольтметров) и переключать его при разных режимах измерения.

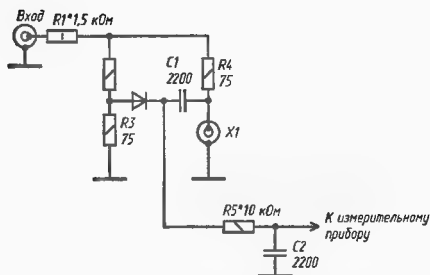


Рис. 17.16. Схема ВЧ-вольтметра

Полезно иметь ВЧ-вольтметры для измерения ВЧ напряжения на входе и выходе СУ. Схема ВЧ-вольтметра приведена на рис. 17.17. Две аналогичные схемы располагаются непосредственно около гнезд X1 и X2 (рис. 17.1). При идентичном выполнении ВЧ-вольтметров, и КСВ в антенне не хуже 1,5 их показания в режиме «обход»

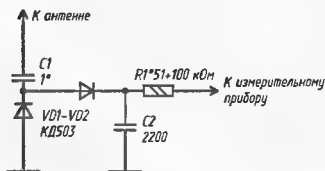


Рис. 17.17. Схема простого ВЧ-вольтметра

должны быть одинаковыми. Подключив трансивер в режиме «работа» через ЦС на согласованную нагрузку R2 (рис. 17.1), можно примерно определить КПД ЦС на конкретном диапазоне. При работе с разными антеннами можно определить, низкоомная это антенна или высокоомная. Естественно, измерительный прибор целесообразно иметь общим для всех схем (ВЧ-моста и ВЧ-вольтметров) и переключать его.

Данные катушек для выполнения МУ, показанного на рис. 17.2, приведены в табл. 17.1, для схемы на рис. 17.3 — в табл. 17.2.

Вариометр для Т-образной схемы МУ можно использовать любой. Его максимальная индуктивность должна быть не менее 30 мкГн, минимальная — близка к нулю. Если максимальная индуктивность имеющегося вариометра меньше, то для расширения частотного диапазона можно подключить последовательно с ним добавочную индуктивность. Другой вариант — параллельно переменным конденсаторам подключать добавочные постоянные емкости. Если минимальная индуктивность вариометра не достигает нуля, то это существенно ограничит верхний диапазон работы МУ, и количество типов согласуемых антенн.

Таблица 17.1

ДАННЫЕ КАТУШЕК ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ МУ, ПОКАЗАННОГО НА РИС. 17.1

Рабочий диапазон, МГц	1,9	3,5...3,8	7	10	18	14	21	24	27...30
диаметр катушки, мм	50	30	25	25	25	25	25	25	25
Длина намотки, мм	50	30	40	40	40	40	30	30	30
Число витков	100	30	20	15	10	11,5	8,5	7,5	6,5

Таблица 17.2

ДАННЫЕ КАТУШЕК ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ МУ, ПОКАЗАННОГО НА РИС. 17.2

Рабочий диапазон, МГц	1,9	3,5...3,8	7	10	14	18	21	24	27...30
Диаметр катушки, мм	50	40	25	25	25	25	25	25	25
Длина намотки, мм	60	40	40	50	40	40	40	40	35
Число витков	130	35	28	20	15	11,5	11	9,5	8,5

Таблица 17.3

КОНСТРУКТИВНЫЕ ДАННЫЕ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТЕЙ ДЛЯ СХЕМЫ НА РИС. 17.9

Индуктивность, мкГн	8	4	2	1	0,5	0,25	0,12
Диаметр катушки, мм	30	20	20	20	25	10	10
Длина намотки, мм	30	20	25	20	20	10	10
Число витков	20	18	12	8,5	5	6	4

Конструктивные данные для выполнения катушек индуктивностей для схемы МУ, изображенной на рис. 17.9, приведены в табл. 17.3. Для выполнения «искусственной земли» удобно пользоваться первичной индуктивностью, которую после настройки противовеса в резонанс заменяют на аналогичную постоянную.

Поскольку через элементы МУ (конденсаторы, катушки, пвреклучатели) могут протекать значительные токи, то они должны быть качественными. Необходим хороший контакт с ползунком катушки переменной индуктивности. При использовании самостоятельно прорезанных переменных конденсаторов необходимо проконтролировать контакт с ротором конденсатора. При использовании некачественных деталей возможно искрение трущихся контактов, что приведет как к повышенному уровню помех телевидению, так и к выходу этих радиодеталей из строя.

В заключение отметим, что согласующее устройство следует использовать только в том случае, если оно действительно необходимо. Исходя из этого, следует выбрать тот тип АТУ, который действительно необходим. Например, нет смысла изготавливать широкополосное устройство для работы в диапазоне 1,8...30 МГц, если реально у вас не строятся антенны на один-два диапазона, или на этих диапазонах используются суррогатные антенны. Здесь гораздо эффективнее (как по затратам, так и по результатам) выполнить на каждый диапазон по своему согласующему устройству.

Но если вы используете транзисторный трансивер, а большинство ваших антенн суррогатные, то здесь необходимо широкополосное АТУ. Так же обстоит и с устройством «искусственная земля». Если оно требуется только для одного—двух диапазонов, можно сделать его упрощенный вариант и «забыть» о нем после установки. Не решает АТУ коренным образом и проблему помех телевидению. Здесь необходимо использовать дополнительные фильтры, а также улучшать работу выходного каскада.

ГЛАВА 18

СОГЛАСУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА КВ ДИАПАЗОНА

В диапазоне коротких волн согласующее устройство достаточно просто реализовать, используя сосредоточенные элементы — катушки индуктивности и конденсато-

ры. Основная же сложность построения согласующего устройства заключается в выполнении его достаточно простым конструктивно и способным работать в широком диапазоне частот.

Ниже рассмотрены схемы согласующих устройств различной сложности, способные эффективно работать во всех любительских КВ диапазонах (от 10 до 16 Ом). Среди радиолюбителей принято называть согласующее устройство по его аббревиатуре — ATU (antenna tuning unit), этой терминологии будем придерживаться и мы.

УНИВЕРСАЛЬНОЕ СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Среди радиолюбителей всегда был высок интерес к универсальным антеннам, способным работать во всех любительских КВ диапазонах, а также согласующим устройствам, работающим во всех КВ диапазонах без сложных переключений. Схемы таких универсальных согласующих устройств давно используются в армейских радиостанциях. Некоторые современные радиолюбительские фирменные трансиверы также используют универсальные согласующие устройства, настраиваемые автоматически по минимуму КСВ.

Одна из простых реализаций универсального согласующего устройства показана на рис. 18.1. Это устройство способно согласовать активную нагрузку сопротивлением от 20 до 300 Ом с выходом передатчика, рассчитанным для работы на нагрузку 50...75 Ом в диапазоне частот 1,8...32 МГц с КСВ не хуже 2. Схема работает следующим образом. В диапазоне частот 1,8...4 МГц весь контур $L1C2.1C2.2$ настраивается

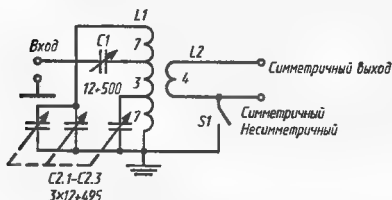


Рис. 18.1. Универсальное согласующее устройство

в резонанс с поступающим в него сигналом. С помощью конденсатора $C1$ происходит регулировка связи с выходом передатчика. Катушка $L2$ представляет собой компромиссный вариант связи с антенной. Но, несмотря на простоту реализации, все же удастся добиться удовлетворительного согласования с антенной в диапазоне частот работы согласующего устройства. При работе на диапазоне 7...30 МГц в резонанс настраивается нижняя секция A катушки $L1$ с помощью конденсатора $C2.3$. Средняя секция B служит катушкой связи. Точная регулировка глубины связи с передатчиком достигается с помощью конденсатора $C1$. Из описания видно, что это резонансное согласующее устройство, на элементах которого во время работы на передачу будет присутствовать высокое напряжение. Эффективность работы этого устройства во многом будет зависеть от качества его выполнения.

Схема подобного устройства неоднократно приводилась в радиолюбительской литературе. Рассмотрим одну из наиболее простых и эффективных его реализаций, предложенную в [1] и проверенную автором с этим согласующим устройством.

Катушка $L1$ выполнена на каркасе диаметром 55 мм и содержит в первой секции (от «холодного» конца до конденсатора $C2.3$) 7 витков, намотанных на длине 40 мм; 3 витка, намотанных на длине 15 мм; затем 7 витков на длине 30 мм. Провод, используемый для намотки $L1$, должен быть диаметром не менее 1 мм. Катушка $L2$ содержит 4 витка. Она намотана по всей длине катушки $L1$ (хотя на практике с некоторыми типами антенн несколько лучшие результаты получаются при намотке $L2$ в средней части $L1$ на длине 40 мм). Катушку $L2$ можно намотать многожильным гибким проводом диаметром 1,5...2 мм.

Аналогичные схемы широкополосных согласующих устройств использовались еще в прежние годы в некоторых автоматических согласующих устройствах выходных каскадов передатчиков. И в настоящее время подобные согласующие устройства используются в некоторых современных зарубежных радилюбительских трансиверах с автоматической настройкой, на «любую» антенну. При практической реализации этого АТУ было выявлено, что оно «бьется» нагрузок, содержащих реактивную составляющую любого знака, и особенно сравнимую по величине с согласуемой нагрузкой. Во время испытаний реальных антенн оказалось, что это АТУ во многих случаях не может обеспечить согласование антенны с коаксиальным кабелем с КСВ лучше 2. Простая доработка АТУ, показанная на рис. 18.2, значительно повысит эффективность его работы.

В этой схеме использованы элементы связи с нагрузкой. Получив возможность регулировать связь с антенной (нагрузкой), с помощью СЗ можно добиться успешного согласования реальных антенн в широком диапазоне частот. Без СЗ трудно добиться хорошего согласования для высокоомных антенн в диапазоне 1,8...3,5 МГц и низкоомных в диапазоне 18...32 МГц. Дополнительное включение СЗ позволяет получить КСВ в кабеле не хуже 1,5 при любой активной нагрузке от 20 до 300 Ом в диапазоне частот 1,8...32 МГц, причем в диапазоне 1,8...7 МГц достигим КСВ 1,2. Улучшить работу АТУ на диапазонах 10...17 м, где усиление ламп и транзисторов ниже и мощность падает, можно введением дополнительной катушки связи L3 (рис. 18.3), работающей только на этих диапазонах.

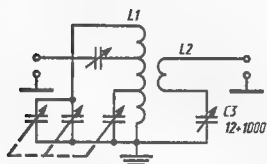


Рис. 18.2. Универсальное АТУ с регулируемой связью с нагрузкой

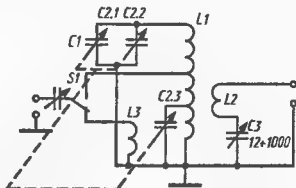


Рис. 18.3. Схема АТУ для эффективной работы на верхних ВВ диапазонах

Катушка L3 содержит 3 витка гибкого провода диаметром 1,5 мм; она намотана поверх L1 на длине 30 мм, считая от первого витка «холодного» конца L1. При использовании этой катушки стал достижим КСВ в кабеле волновым сопротивлением 50 Ом не хуже 1,2 во всем диапазоне частот работы согласующего устройства — от 1,8 до 32 МГц, значительно расширился и диапазон согласуемых нагрузок при частотах 7...32 МГц.

Согласующее устройство, собранное по схеме на рис. 18.3, действительно универсальное. Оно содержит всего лишь один переключатель (им может быть даже простой тумблер) и три ручки настройки, манипулируя которыми производят настройку АТУ. При определенном опыте это не представляет труда. Для настройки АТУ необходимо использовать либо КСВ-метр, включенный на выходе трансивера, либо настраивать АТУ по максимуму ВЧ напряжения на антенне. В промежуточном диапазоне работы АТУ (3,5...7 МГц) возможна двойная настройка, т. е. получение резонанса как по всей индуктивности катушки L1, так и по ее части А. Здесь следует ориентироваться по максимальному ВЧ напряжению на антенне, так как КСВ в обоих случаях будет достаточно хорошим.

При практических измерениях коэффициент полезного действия АТУ, схема которого приведена на рис. 18.3, был не менее 60% при согласовании активных нагрузок сопротивлением от 30 до 150 Ом с выходом передатчика 50...75 Ом и падал при увеличении или уменьшении нагрузки от указанных пределов. Но и в самом худшем случае — при согласовании активных нагрузок на краях работы АТУ (20 и 300 Ом) он был не менее 30%.

Поскольку все конденсаторы могут работать в режиме резонанса, они должны иметь большой зазор между пластинами (не менее 0,5 мм) при мощности, подводимой к АТУ, до 50 Вт. В противном случае возможен пробой конденсаторов или АТУ придется настраивать при работе на передачу не на полный резонанс, что снизит

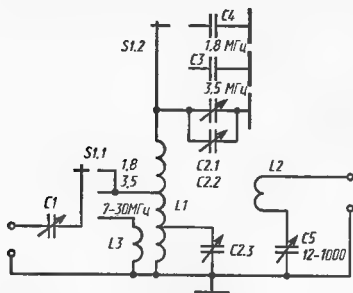


Рис. 18.4. Усовершенствованное универсальное АТУ

КПД. Несмотря на указанные недостатки (сравнительно небольшой КПД, необходимость изоляции от корпуса C1, использование высококачественных конденсаторов при повышенной мощности трансивера), это АТУ является достаточно простым и действительно универсальным. Его можно реализовать по любой из приведенных здесь схем, все зависит только от желания радиолюбителя достигнуть необходимого согласования на краях работы АТУ при использовании случайных антенн. Но наиболее универсальным является АТУ, выполненное по схеме на рис. 18.3.

При конструировании таких устройств следует стремиться к максимально компактному и жесткому монтажу. Необходимо использовать переменные конденсаторы с хорошими контактами ротора, особенно при работе на верхних любительских ВВ диапазонах. При подстройке АТУ для конкретных антенн можно варьировать отвод от L1 к C1 — он может быть от 5...10-го витка катушки, следующий отвод возможен через 2...4 витка. Верхняя часть катушки L1 может содержать от 7 до 15 витков для более эффективной работы на НЧ диапазонах. Еще большего увеличения КПД устройства можно достичь при использовании в качестве S1 (рис. 18.3) не тумблера, а галетного переключателя (рис. 18.4.) с подобранными конденсаторами C4 и C5 для работы соответственно в диапазонах 3,5 и 1,9 МГц.

ПРОСТОЕ УНИВЕРСАЛЬНОЕ СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Схема простого согласующего устройства приведена на рис. 18.5. Это АТУ представляет собой обычный LC-контур, который с помощью переключателя S3 и конденсатора C1 может быть настроен на частоту выбранного любительского диапазона. С помощью S1 выбирают связь с передатчиком, а с помощью S2 — с антенной.

Комбинацией переключателей можно согласовать практически любое выходное сопротивление передатчика с практически любым входным сопротивлением антенны. Согласующее устройство работает в диапазоне 1,8...30 МГц, но на высоких частотах его эффективность вследствие большой длины проводников, идущих от катушки и конденсатора их на корпус, снижается.

Для каркаса катушки использована стеклянная банка из-под горчицы с металлической накручивающейся крышкой. Диаметр банки 5,5 см, на ней намотано 30 витков

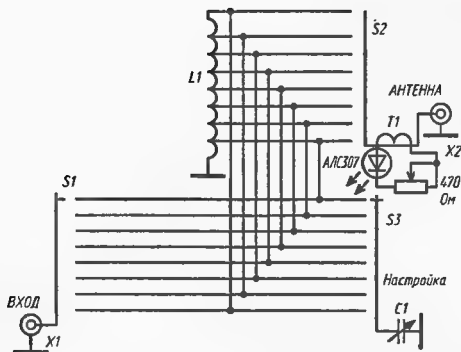


Рис. 18.5. Простое согласующее устройство

провода диаметром 1,5 мм на длине 5 см. Первый и последний виток закреплялись на банке с помощью эпоксидной смолы. Первый, второй, третий отвод сделаны соответственно от 1, 2, 3-го витка. Затем 3, 4, 5-й отводы были сделаны от 5, 7, 9-го витка и затем равномерно через 3 витка. В качестве $C1$ использован прореженный вдвойный конденсатор от вещательного приемника. Трансформатор тока выполнен на пластмассовой ламповой панельке с удаленными ламелями и высверленной серединой. Обмотка трансформатора содержит 30 витков провода ПЭЛ-0,3, намотанных равномерно. Конструкция АТУ показана на рис. 18.6.

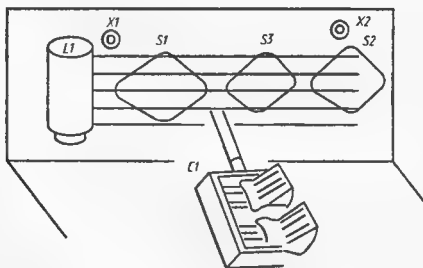


Рис. 18.6. Конструкция АТУ

Катушка на банке крепится к шасси за металлическую крышку. От нее исходят 11 проводов, каждый из которых подключается к соответствующему переключателю. Конденсатор находится за переключателем и его ротор выведен на переднюю панель с помощью старого фломастера, который приклеен к нему. Возможны и иные варианты конструктивного выполнения тюнера. Необходимо лишь стремиться к тому, чтобы провода, идущие от катушки к переключателям, были минимальной длины.

Очень хорошо использовать двоянные переключатели с независимой коммутацией, но они дефицитны.

Обычные конденсаторы от старых ламповых приемников, примененные в АТУ, позволяют использовать его при мощности, подводимой к выходному каскаду, до 100 Вт. Хорошие результаты АТУ дает и при использовании его на прием.

УНИВЕРСАЛЬНОЕ СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО С ЗАЗЕМЛЕННОЙ ЕМКОСТЬЮ

Обычно для реализации АТУ используют классическую схему, показанную на рис. 18.7. Несмотря на простоту, эта схема позволяет согласовать с 50- или 75-омным выходом передатчика антенну, модуль полного сопротивления которой от 15 до 1000 Ом. Но при реализации этой схемы радиолюбитель сталкивается с такими трудностями как необходимость наличия двух высококачественных конденсаторов переменной емкости, изоляции их от корпуса АТУ и наличия катушки с плавной регулировкой индуктивности.

Один из лидеров в производстве согласующих устройств, фирма АЕА (США) нашла оригинальный выход из этого положения [2], сделав свой новый тюнер по схеме, упрощенный вариант которой приведен на рис. 18.8.



Рис. 18.7. Классическая схема АТУ



Рис. 18.8. Схема АТУ фирмы АЕА

Действительно, схема на рис. 18.8 эквивалентна схеме на рис. 18.7, но значительно проще ее реализации — требуется только один высококачественный переменный конденсатор и две дискретно регулируемые катушки индуктивности, которые несложно выполнить в радиолюбительских условиях.

Но согласование передатчика с антенной является только частью решения проблемы согласования передатчика с антенной системой. При некорректном согласовании антенной системы, что особенно часто случается на любительских ВЧ диапазонах 10...20 м при использовании там случайных антенн, передатчик начинает «жечься» и может возбуждаться на каком-либо участке диапазона, либо на всем диапазоне. Настройка антенны с помощью АТУ может по многим причинам не дать желаемых результатов. В этом случае рекомендуют использовать четвертьволновый противовес для диапазона, на котором происходит возбуждение, подключенный непосредственно к корпусу передатчика. Противовес, настроенный в резонанс, в значительной мере снижает уровень ВЧ напряжения на корпусе трансивера.

Часто установка резонансного противовеса в квартире вызывает затруднения. Противовес может понадобиться не только для одного диапазона, а для нескольких, в том числе и для диапазона 16 Ом. Окружающие предметы искажают резонансную частоту противовеса для любого диапазона. Чтобы избежать этого, используют один противовес, искусственно настраиваемый в резонанс на необходимый в данном случае диапазон работы. Для настройки противовеса в резонанс используют устройство, называемое «искусственная земля».

Упрощенная схема этого устройства приведена на рис. 18.9. Его подключают к корпусу передатчика, к корпусу устройства «искусственная земля» подключают отрезок провода или шины (чем большей длины, тем лучше) и на диапазоне, где передатчик «жжется» или хрипит, добиваются максимального в противовес тока. При правильной настройке возбуждение и «горячее» соприкосновение обычно исчезают.

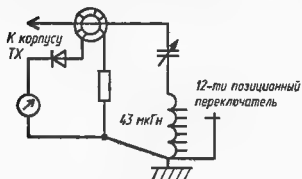


Рис. 18.9. Устройство «искусственная земля»

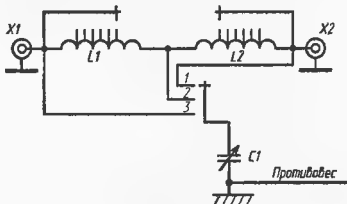


Рис. 18.10. Универсальное согласующее устройство

Для работы в эфире желательно иметь оба эти прибора. Из рисунков видно, что они содержат одинаковые элементы, т. е. при соответствующей коммутации АТУ может служить как устройство «искусственная земля», а устройство «искусственная земля» — как АТУ. На основе этого предположения разработано устройство, упрощенная схема которого приведена на рис. 18.10.

При подключении выхода передатчика к гнезду $X1$, а антенны к гнезду $X2$ и установке конденсатора $C1$ в любое из положений 1–3 формируется АТУ. При подключении корпуса «горячего» передатчика к гнезду $X1$, а противовеса к корпусу этого устройства и установке переключателя $S3$ в положение 1 или 2 (в зависимости от диапазона) это устройство будет сформировано как «искусственная земля». Полная схема этого устройства изображена на рис. 18.11.

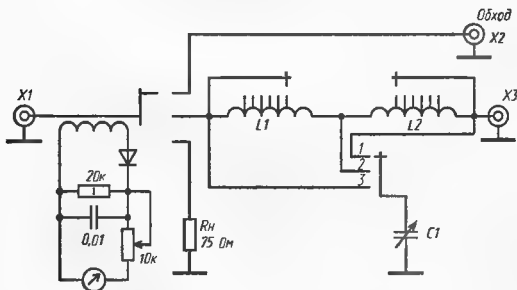


Рис. 18.11. Комбинированное устройство АТУ — «искусственная земля»

Катушки $L1$ и $L2$ намотаны на каркасах диаметром 55 мм и содержат 30 витков провода диаметром 1,5 мм, длина намотки 40 мм. Катушки располагаются в непосредственной близости от переключателей. Отводы — первые 3 отвода через полтора витка, затем еще 3 отвода через 2 витка, остальные отводы через 4 витка. В ка-

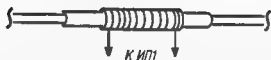


Рис. 18.12. Датчика тока

представлял собой сорок витков провода ПЭЛ-0,1, намотанных виток к витку на двух кембриках, одетых один поверх другого на проводе, идущем от $X1$ к катушкам. Вид датчика тока показан на рис. 18.12.

честве $C1$ использован конденсатор от старых приемников с большим зазором между пластинами.

Для измерителя тока антенны или земли использовался миллиамперметр, имеющий предел отклонения стрелки 1 мА. Датчик тока

СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО НА КОАКСИАЛЬНОМ КАБЕЛЕ

Наилучшим вариантом питания кабельной антенны является ее питание по кабелю длиной, кратной полуволне длины диапазона работы антенны. В этом случае антенна как бы напрямую подключена к выходу передатчика и в этом случае достигается ее оптимальное согласование простыми средствами. Если антенна рассчитана для многодиапазонной работы или предполагается осуществить «полуволновое» питание ранее установленной антенной системы, длина кабеля которой неизвестна, то удобно использовать устройство, схема которого показана на рис. 18.13.

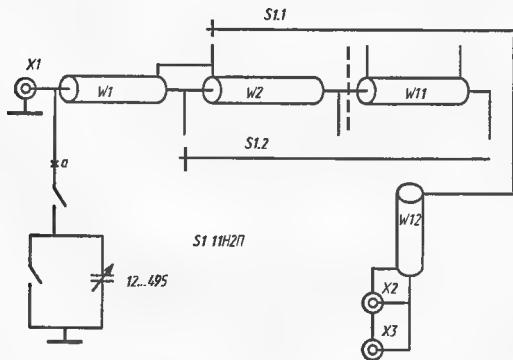


Рис. 18.13. Кабельное АТУ

Оно состоит из 12 отрезков 50-омного кабеля длиной 1 м, подключенных к даоинному переключателю на 11 положений. Сам кабель свит в небольшую бухту и расположен в непосредственной близости от переключателя. При физической длине кабеля 12 м его электрическая длина равна примерно 17 м (коэффициент укорочения большинства кабелей примерно равен 0,6). С согласующим устройством, имеющим кабель такой длины, теоретически можно согласовать антенну с нижним рабочим диапазоном 3,5 МГц.

На практике оказалось возможным согласование антенн диапазона 1,8 МГц, хотя вероятно, лучше результаты на этом диапазоне получились бы при использовании кабеля длиной 24 м. На диапазонах 7, 10 и 14 МГц также удалось добиться оптимального согласования. На диапазоне 21 МГц уже сказывалась большая длина отрезков кабеля, хотя и на этом диапазоне устройство работало. Следует заметить, что по-

сколько емкость неиспользуемого кабеля входит в емкость П-контура выходного каскада передатчика, то во-первых, необходимо использовать минимальное неподключенное число секций кабеля, а во-вторых, всякий раз после изменения длины кабеля в согласующем устройстве необходимо производить подстройку выхода передатчика, если это возможно.

Транзисторные трансиверы обычно не имеют элементов подстройки выходного П-контура, поэтому кабельное АТУ предпочтительно использовать с ламповыми передатчиками, имеющие такую подстройку, или совместно с обычным АТУ для увеличения эффективности работы последнего.

С помощью этого устройства проверено еще одно согласование антенны — с помощью шлейфа. Как известно из теории длинных линий, согласование комплексной нагрузки, каковой и является линия передачи с подключенной к ней антенной, можно выполнить с помощью шлейфа, замкнутого накоротко, если комплексное сопротивление выше волнового сопротивления линии передачи, либо разомкнутого, если волновое сопротивление ниже сопротивления линии передачи (рис. 18.14). Причем шлейф, используемый для согласования, может быть максимальной длины в четверть волны. В этом случае в точке А данного согласующего устройства включены параллельно тумблер и сдвоенный конденсатор 12...495 пФ.

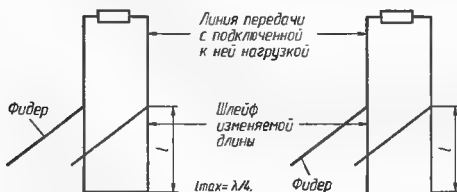


Рис. 18.14. Согласование с помощью шлейфа

В этом случае выход передатчика подключался в гнездо Х2, антенна — в гнездо Х3 и путем изменения длины кабеля и характера его конца короткое (замыкание или подключение емкости) производилась настройка антенны. Вариант такого согласующего устройства с длиной отрезков кабеля 1 м успешно испытан в любительских диапазонах от 20 до 160 м, на диапазоне 15 м из-за большой длины отрезков кабеля его работа была неэффективна.

Эти согласующие устройства не эквивалентны друг другу: в одних случаях лучше работает одно, в других — другое. Для настройки антенны с помощью такого устройства необходимо использовать индикатор напряженности поля, использование КСВ-метра (особенно встроенного) нежелательно.

При использовании этих устройств удалось добиться как согласования однодиапазонных резонансных антенн типа «дельта» и «инвертор» для работы в других, нерезонансных им диапазонах, так и существенного улучшения работы этих резонансных антенн на их резонансных диапазонах работы. Хорошо работало устройство и с использованием случайных антенн — типа отрезка провода.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ КОММУТАЦИОННО-СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Мечта коротковолновика — иметь удаленную антенну для каждого любительского диапазона. Но она не всегда осуществима, особенно в условиях большого города.

Чаще приходится выбирать один из компромиссных вариантов многодиапазонных проволочных антенн. В то же время для работы в эфире подойдет антенна длиной около 41 м, питаемая с одного конца. Согласовать такую антенну с низким выходным сопротивлением передатчика можно с помощью несложных согласующих устройств, но у них есть один недостаток. Согласитесь, что не совсем удобно в управлении согласующее устройство, расположенное на лоджии (балконе) и даже на подоконнике, если рабочее место радиолюбителя не находится рядом с окном, в которое заведен провод питания антенны.

Предлагаемая на рис. 18,15 схема автоматического коммутационно-согласующего устройства (АКСУ) позволит располагать антенну в свободном пространстве, избавившись от перечисленных недостатков. Питание антенны и управление АКСУ осуществляются по коаксиальному кабелю (50 Ом). Устройство состоит из блоков управления (БУ) и коммутации (БК). БУ находится рядом с трансивером. Он содержит коммутационное реле *K1* и кнопку сброса *SB1*. БК расположен непосредственно около антенны. Он содержит согласующие цепи для каждого любительского диапазона и схему автоматического выбора необходимой согласующей цепи.

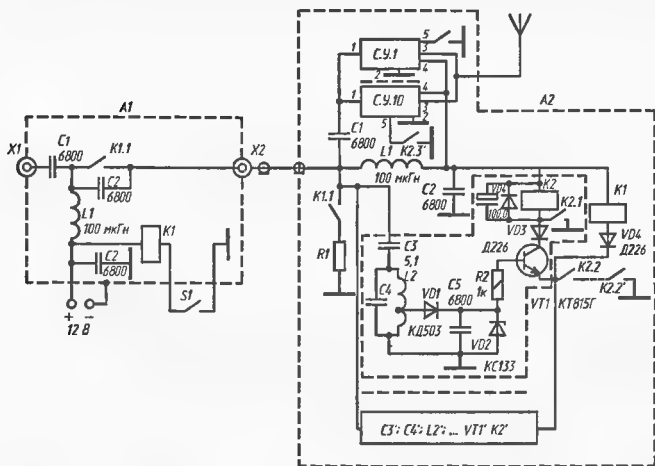


Рис.18.15. Схема автоматического коммутационно-согласующего устройства

Работает коммутационное устройство следующим образом. При подаче напряжения питания +12 В на БУ оно через фильтр *L1C3*, нормально замкнутые контакты реле *K1* (БУ), коаксиальный кабель и фильтр *L2C2* поступает на БК. Так как в исходном состоянии нормально замкнутые контакты *K3.2* всех реле *K3* ячеек селекции *A1...A10* включены последовательно, срабатывает реле *K2*. Своими контактами оно подключает к кабелю эквивалент нагрузки *R1*. Это необходимо для того, чтобы выходной каскад трансивера на период опраделения АКСУ нужного диапазона был включен на согласованную нагрузку. Параллельно эквиваленту включены ячейки селекции сигнала *A1...A10*, представляющие собой простейшие детекторные приемники, управляющие транзисторными ключами *VT1* и *VT1'*.

При включении трансивера на передачу сребтывает та из ячеек, частота настройки которой совпадает с выбранным диапазоном трансивере, например А1. Реле КЗ через контакты КЗ.1 самоблокируется, оставаясь во включенном состоянии и после снятия сигнала передатчика. Одновременно с этим размыкаются контакты КЗ.2, делая невозможным включение другой ячейки и отключая эквивалент нагрузки. Третья группа контактов КЗ.3 включает соответствующее согласующее устройство (рис. 18.16), например СУ1, в цепь антенны. Схема на рис. 18.16а использована на диапазонах 160, 80 и 30 м, на рис. 18.16б — на диапазонах 40, 20, 17 м; на рис. 18.16в — на диапазонах 15, 12, 11 и 10 м. Конструктивные данные согласующих цепей для каждого диапазона приведены в табл. 18.1.

При смене диапазона трансивера АКСУ следует вернуть в исходное состояние, нажав кнопку SB1 на блоке БУ. При этом кратковременно снимается напряжение питания с блока БК.

Для повышения надежности работы всей системы включение согласующего устройства следует производить при пониженной мощности трансивера (5...10 Вт).

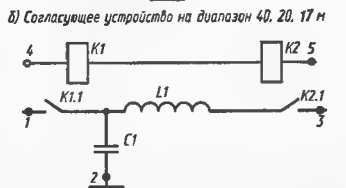
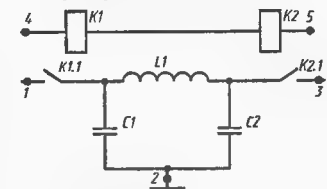
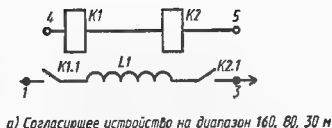


Рис. 18.16. Согласующие устройства универсальной антенной системы

Таблица 18.1

КОНСТРУКТИВНЫЕ ДАННЫЕ СОГЛАСУЮЩИХ ЦЕПЕЙ

Диапазон, м	Число витков	Данные намотки	Тип провода	Отвод от «холодного» конца	C4, пФ
160	68	Внавал, на резисторе МЛТ-2, 100 кОм	ПЭВ-0,2	10	360
80	38			7	300
40	22			5	270
30	17	Рядовая, на резисторе МЛТ-1, 100 кОм	ПЭВ-0,3	4	240
20	17			4	120
17	17			4	100
15	15			3	91
12	15			3	51
11	15			3	36
10	15			3	30

ДАННЫЕ КОНТУРОВ ЯЧЕЕК СЕЛЕКЦИИ

Диапазон, м	L1 длина намотки, мм	Диаметр каркаса, мм	Число витков; провод, мм	C1, пФ	C2, пФ	Примечание
160	60	40	20; 2	—	—	Подстройка изменением длины и числа витков L1
60	60	40	15; 2	—	—	
30	50	40	10; 2	—	—	
40	40	34	14; 2	1000	120	Подстройка C2
20	45	34	8; 2	1000	100	Подстройка C2
17	45	34	7; 2	750	75	Подстройка C2
15	45	34	6; 2	510	51	Подстройка C2, L1
12	45	34	6; 2	390	—	Подстройка: C1 изменением длины L1
11	45	34	6; 2	300	—	
10	45	34	6; 2	270	—	

В табл. 18.2 приведены данные контуров *L3C4–L3'C4'* ячеек селекции *A1...A10*. При выполнении катушек точно по описанию контуры окажутся настроенными на соответствующий диапазон. Но все же в близко расположенных диапазонах 12, 11 и 10 м потребуются более тщательная настройка. Она производится подстроечными конденсаторами емкостью до 30 пФ, входящими в общую емкость *C4*. Емкость конденсатора *C3* не должна быть больше 5,1 пФ. Если с такой емкостью ячейка селекции не срабатывает, то настраивают более точно контур *L3C4* или уменьшают сопротивление базового резистора *R2* (но не менее 100 Ом).

Налаживание согласующих цепей (рис. 18.16) также следует проводить при пониженной мощности трансивера (5...10 Вт). При этом очень удобно воспользоваться индикатором напряженности поля. Подбором емкостей П-контуров, растяжением или сжатием витков катушек следует добиться максимальных показаний прибора. Только после этого можно подать на согласующее устройство полную мощность и измерить КСВ системы. Если КСВ на каком-либо из диапазонов будет превышать 2, следует произвести дополнительную подстройку контуров согласования, используя КСВ-метр или измерительный мост.

В БУ и БК используются реле *K1, K2, K3–K3'* типа РЭС-22 (паспорт РФ4.500.131). Для коммутации согласующих цепей применены реле типа РСМ-1 (паспорт Ю.171.81.50), включенные последовательно. Нагрузка *R1* набрана из десяти резисторов типа МЛТ-2 620 Ом, включенных параллельно. Катушки *L1* в БУ и *L2* в БК — стандартные дроссели, рассчитанные на ток 1 А. Их можно изготовить и самостоятельно, намотав 60 витков провода ПЭВ-2 0,8 мм виток к витку на круглый ферритовый стержень диаметром 8 и длиной 60 мм от антенны транзисторного приемника.

Блок коммутации выполнен на двух платах из фольгированного стеклотекстолита. Монтаж производился по месту установки деталей, на пятачках. На одной плате собраны согласующие устройства вместе с их переключающими реле, на другой — собраны ячейки селекции диапазонов. После окончательной настройки блок герметично запаивают.

АКСУ эксплуатировалось с трансивером с выходной мощностью 100 Вт. При использовании сипноточных реле и соответствующем монтаже устройства мощность, подводимую к нему, можно повысить.

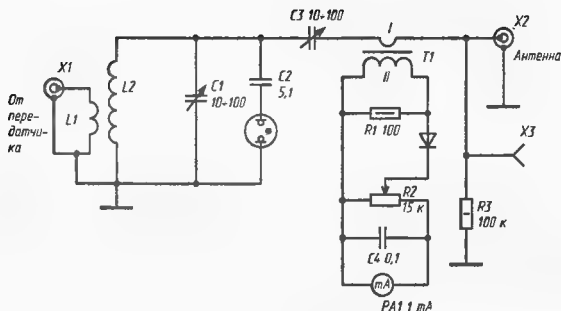


Рис. 18.18. Схема АТУ для диапазона частот 18...30 МГц

В АТУ для работы на высокочастотных диапазонах используются перамвные конденсаторы типа КПВ с максимальной емкостью 100 пФ. В каждом АТУ используется ВЧ-амперметр в цепи антенны. Трансформатор содержит 20 витков для вторичной обмотки. Первичная обмотка — просто продетый сквозь кольцо антенный провод. Для трансформатора тока можно использовать ферритовое кольцо внешним диаметром от 7 до 15 мм и проницаемостью 400...600. Можно использовать и высокочастотные ферриты с проницаемостью 50...100, в этом случае легче получить линейную АЧХ измерителя тока антенны.

Для линейзации АЧХ измерителя тока необходимо использовать шунтирующий резистор $R1$ с как можно меньшим сопротивлением. Но чем оно меньше, тем ниже чувствительность измерения тока антенны. Компромиссный вариант сопротивления этого резистора — 200 Ом. С этим номиналом резистора чувствительность амперметра составляет 50 мА.

Желательно с помощью стандартных приборов проконтролировать правильность показаний амперметра при работе на резонансных диапазонах. С помощью резистора $R2$ можно пропорционально уменьшить показания прибора. Это дает возможность измерять ток как высокоомных, так и низкоомных антенн. Например, если с помощью $R2$ умножим цену делений в 10 раз, то крайняя отметка показаний прибора будет 500 мА, и можно будет пользоваться линейной шкалой прибора для настройки низкоомных антенн. Ток высокоомных антенн лежит в пределах 50...100 мА при подводимой к ним мощности 10...50 Вт.

Таблица 18.3

ДАННЫЕ КАТУШЕК АТУ ДЛЯ ДИАПАЗОНОВ ЧАСТОТ 1,8...14 МГц и 18...30 МГц

Диапазон работы, МГц	$L1$	$L2$
	Число витков, намотка, диаметр, провод	Число витков, намотка, диаметр, провод
1,8...14	5 витков в нижней части $L2$; длина намотки 12 мм; ПЭЛ-1,0	27 витков диаметр каркаса 30 мм, длина намотки 55 мм; ПЭЛ-1,0, отвод от 10 витка
18...30	3 витка в нижней части $L2$, длина намотки 20 мм; ПЭВ-2,0	14,5 витков диаметр каркаса 20 мм; длина намотки 60 мм; ПЭЛ-2,0

Пользуются АТУ следующим образом. Подключают его к трансивру, к согласующему устройству подключают «землю» и антенну. Конденсатор связи *C4* (рис. 18.17) или *C3* (рис. 18.18) выводят на минимум. Изменяя емкость конденсатора *C1*, настраивают контур в резонанс по свечению неоновой лампочки. Затем увеличивают емкость конденсатора связи, уменьшая при этом емкость контурного конденсатора *C*, и добиваются максимальной отдачи тока в антенну.

Согласующие устройства, схемы которых приведены на рис. 18.17 и 18.18 обеспечивают согласование нагрузки от 15 Ом до нескольких килоом.

АТУ для низкочастотных диапазонов выполнено в корпусе из фольгированного стеклотекстолита размерами 280×170×90 мм, АТУ для высокочастотных диапазонов также выполнено в корпусе из фольгированного стеклотекстолита размерами 170×70×70 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Linsley Peter (G3PDL) HF SINGLE COIL «Z-MATCH» ATU.— SPRAT, p. 76. AUTUMN, 1993.
2. QST, с. 8, 1990. Doug De Maw AEA AT — 300 Antenna Tuner (p. 35–36).

Г Л А В А 19

СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДИАПАЗОНА 136 кГц

Согласование антенн в диапазоне длинных волн 136 кГц имеет свои особенности по сравнению с согласованием антенн диапазонов КВ и УКВ. В этих диапазонах обычно используются резонансные согласующие устройства — цель которых или согласовать входное сопротивление антенны с волновым сопротивлением кабеля, или создать условия для работы антенны в качестве части резонансной системы согласующего устройства в используемом диапазоне. Это обуславливает широкий ассортимент согласующих устройств, используемых в диапазонах КВ.

В длинноволновом диапазоне 136 кГц антенна для эффективной работы должна быть настроена в резонанс на частоты этого диапазона.

При работе в длинноволновом диапазоне на передачу не используются горизонтальные симметричные антенны и, следовательно, не применяются АТУ с симметричным выходом.

СПЕЦИФИКА АНТЕНН ДИАПАЗОНА 136 кГц

Для любой работы на передачу на диапазоне 136 кГц необходимо использовать специальные антенны. При этом как можно большая часть антенны должна располагаться в пространстве вертикально относительно земли. Это связано с тем, что на диапазоне 136 кГц эффективно распространяются земной и ионосферной волной лишь радиоволны, имеющие вертикальную поляризацию. Для уменьшения длины вертикальной части антенны используют емкостную нагрузку из 3...10 проводников (рис. 19.1) на конце антенны.

Для эффективной работы длина вертикальной части должна иметь хотя бы 10 м. Заменить такую конструкцию, специально предназначенную для работы на диапазоне 136 кГц, с уменьшением эффективности работы можно антенной, рассчитанной для работы на КВ, например высокой дельтой (рис. 19.2а), диполем (рис. 19.2б) или какой-либо другой антенной, имеющей длинную вертикальную часть.

Важную роль в работ антенн диапазона 136 кГц играет земля. Если для антенн КВ и тем более УКВ диапазонов часто нет необходимости иметь хорошее почвенное

заземление, то для длинноволновых антенн это также важно, как и высота ее вертикальной части. Заземление осуществляют путем закладки на небольшую глубину (10...20 см) под антенной 3...10 проводников, равных по длине вертикальной части антенны.

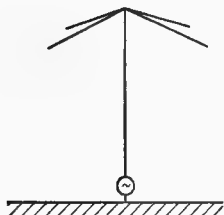
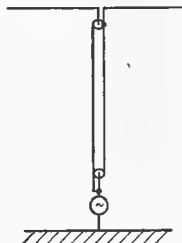


Рис. 19.1. Антенна длинных волн



а)



б)

Рис.19.2. Антенна диапазона КВ для работы на длинных волнах

В качестве суррогатной «земли» можно использовать в городах батарею отопления и водопровод. Полезно подсоединиться к контуру заземления дома.

РАБОТА АНТЕНН В ДИАПАЗОНЕ ДЛИННЫХ ВОЛН

Антенну для диапазона 136 кГц можно представить схемой на рис. 19.3. Антенна состоит из удлиняющей катушки L_A , которая совместно с емкостью антенны C_A образует настроенный в резонанс на диапазон 136 кГц контур. Через катушку связи L_{CB} происходит питание антенны.

Наибольшие потери энергии происходят в заземлении и удлиняющей катушке. От качества заземления зависит и емкость вертикальной части антенны на землю. Излучение электромагнитных волн происходит в основном вертикальной частью антенны.

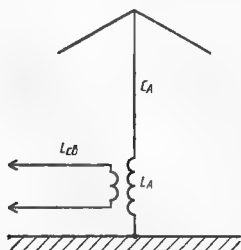


Рис. 19.3. Эквивалентная схема антенны

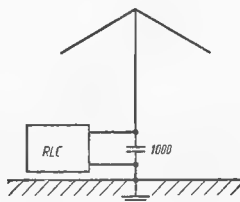


Рис. 19.4. Измерение емкости антенны на землю

При построении антенны необходимо обеспечить наибольшее качество заземления. Как отмечалось, это могут быть закопанные в землю на небольшую глубину провода или проложенные поверх почвы противовесы. Контур $L_A C_A$ должен быть настроен в резонанс на частоты диапазона 136 кГц. Для этого необходимо определить значения L_A и C_A . Для нахождения индуктивности L_A необходимо измерить емкость C_A . Для этого можно воспользоваться RLC -метром и просто измерить емкость антенны относительно земли, как показано на рис. 19.4.

Для уменьшения погрешности измерения и устранения поражения входа прибора статистическим электричеством параллельно антенне включают конденсатор емкостью не менее 1000 пФ. Во время измерения необходимо подключать заземление антенны, так как емкость антенны во многом зависит от его качества. Определение емкости антенны необходимо производить при отсутствии атмосферных возмущений, а также в отсутствие излучений близко расположенных антенн мощных радиостанций.

Следует особо подчеркнуть, что для устранения погрешности измерения необходимо проводить прибором с батарейным питанием. Если прибор питается от сети переменного тока, то емкость антенны на электрическую сеть внесет дополнительную погрешность в результаты измерения.

Если в распоряжении радиолюбителя нет RLC -метра, можно воспользоваться для определения емкости антенны методом замещения. Схема измерения для этого случая показана на рис. 19.5. Генератор можно собрать по любой известной схеме, важно лишь чтобы его частота могла изменяться в пределах 100...200 кГц и его питание осуществлялось от батарей. Контур $L2C2C3$ настроен на частоту генератора. Максимальная емкость конденсатора $C3$ должна быть не менее 250 пФ. Этот конденсатор необходимо предварительно откалибровать по емкости. На контуре измеряется высокочастотное напряжение с помощью высокочастотного детектора, выполненного на элементах $C1$, $VD1$, $R1$. Для индикации высокочастотного напряжения используется любой измерительный прибор (стрелочный или цифровой). Катушка $L2$ содержит 250 витков провода ПЭЛ-0,1 намотанных внавал на длине 10 мм на кусочке феррита диаметром 8 мм и длиной 40...60 мм. Катушка $L1$ может содержать 20...30 витков того же провода.

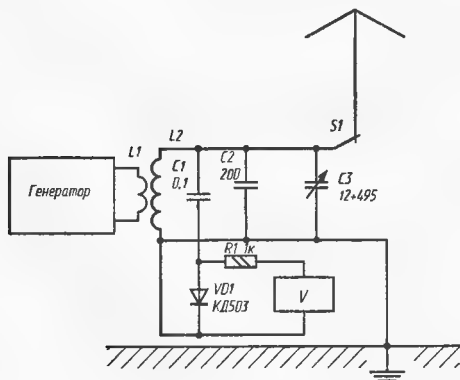


Рис. 19.5. Измерение емкости антенны методом замещения

Определение емкости антенны производят следующим образом. Изменяя частоту генератора, добиваются максимального напряжения на контуре при полностью введенных пластинах конденсатора *C3*. Затем с помощью переключателя *S1* подключают антенну и, уменьшая емкость *C3*, снова добиваются максимального напряжения на контуре. По разнице начального и конечного значения емкости *C3* определяют емкость антенны. Напоминаю, что при этих измерениях заземление антенны тоже должно быть подключено к контуру, в питание генератора и вольтметра должно осуществляться от батарей. Частота генератора должна быть как можно ближе к частоте 136 кГц.

Емкость антенны на землю, для ее эффективной работы, должна быть не менее 100 пФ. При меньшей емкости антенны необходимо принять меры по ее увеличению, например увеличив число проводников в емкостной нагрузке или увеличив эффективность заземления путем увеличения числа используемых противовесов.

Определив емкость антенны, с помощью известной формулы находят индуктивность удлиняющей катушки:

$$L = \frac{2533 \cdot 10^7}{f^2 C},$$

где *L* — индуктивность удлиняющей катушки, мГн;

C — емкость антенны, пФ;

f — частота настройки антенны, кГц.

КОНСТРУКЦИЯ УДЛИНЯЮЩЕЙ КАТУШКИ

Значение индуктивности, найденное из формулы, является приблизительным. Для точной настройки антенны в резонанс необходимо использовать *удлиняющую катушку* с плавной регулировкой индуктивности.

Существует несколько способов осуществления такой регулировки. Самый простой и очевидный — это выполнение удлиняющей катушки в виде вариометра. Если радиолюбитель обладает достаточными навыками для самостоятельного изготовления вариометра, то это оптимальный вариант. Можно использовать готовый вариометр, включив его последовательно с основной катушкой. Здесь следует обратить внимание на то, что в основании антенны протекают значительные высокочастотные токи, поэтому необходимо использовать вариометры, выполненные из толстого провода.

На верхнем конце удлиняющей катушки во время передачи существует высокое напряжение, которое при подаваемой мощности к антенне 100 Вт может достигать десятков киловольт. Это предопределяет хорошую изоляцию вариометра от «земли» и использование массивных диэлектрических ручек при регулировке вариометра во время настройки антенной системы, если *вариометр* будет включен в вершину удлиняющей катушки.

Наиболее доступным для радиолюбителя является следующее *построение удлиняющей катушки*. Обычно индуктивность удлиняющей катушки находится в пределах 4...7 мГн. Физически эта катушка выполняется в виде двух катушек разной индуктивности (*L1* и *L2*), как показано на рис. 19.6. Катушка *L1* выполнена на трахлитровой стеклянной банке. Она содержала 120 витков, через каждые 10 витков сделан отвод. Катушка намотана проводом типа ПЭЛ-1,0. Намотка произведена на длину 16 см. Витки закреплены паркетным лаком в нескольких местах. Закреплять витки катушки эпоксидной смолой не рекомендуется, так как при больших напряжениях на катушке *L1* смола между витками начинает выгорать. Индуктивность этой катушки около 1,4 мГн.

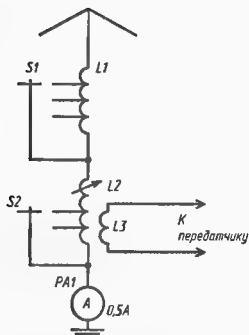


Рис. 19.6. Включение удлиняющей катушки для настройки антенны в резонанс

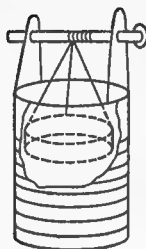


Рис. 19.7. Плавная регулировка индуктивности

Основная катушка $L2$ намотана на пластмассовом ведре. Ее индуктивность можно рассчитать по следующей формуле:

$$L = \frac{0,1D^2n^2}{4D + 11b},$$

где L — индуктивность, мГн;
 D — диаметр катушки, см;
 b — длина намотки катушки, см;
 n — число витков катушки.

Как показывает опыт, для индуктивности 4...6 мГн такая катушка должна содержать от 150 до 250 витков при условии, что она выполнена на пластмассовом ведре емкостью 10...12 л. Для ее выполнения желательно использовать провод диаметром не менее 2 мм как многожильный, так и одножильный. Можно сделать несколько отводов от катушки для более точной подстройки антенной системы. В небольших пределах индуктивность катушки можно плавно регулировать с помощью замкнутого витка из медной или алюминиевой фольги, опускаемого с помощью винта большого диаметра вовнутрь катушки, как показано на рис. 19.7. На конце катушки $L2$ во время передачи будет присутствовать высокое напряжение, поэтому следует остерегаться прикосновения к ее верхним виткам. Катушка $L1$ должна находиться на диэлектрической подставке, поскольку на ней также будет присутствовать высокое напряжение. Хороший вариант ее расположения — на такой же трехлитровой банке, на которой выполнена сама катушка. Не следует «вытягивать» дугу отверткой с изолированной ручкой из этой катушки, так как даже при мощности в 100 Вт дуга может прожечь ручку.

КАТУШКА СВЯЗИ

Определение параметров оптимальной катушки связи является непростым делом. Все зависит от того, какой выходной каскад используется для работы на 136 кГц. Если используется обычный НЧ усилитель, рассчитанный для работы на нагрузку 4 Ом, то катушка связи может содержать 10...20 витков, намотанных в нижней части

катушки $L2$ (рис. 19.6). При использовании ламповых выходных каскадов, имеющих выходное сопротивление большее 4 Ом, число витков катушки связи $L3$ может быть увеличено, но оно не должно составлять более 30% от числа витков $L2$. При наладке антенной системы требуется тщательный подбор необходимого числа витков катушки $L3$ по максимальной отдаваемой мощности в антенну. Качественно определить мощность, отдаваемую в антенну, можно с помощью высокочастотного амперметра, измерив ток в основании катушки $L2$.

НАСТРОЙКА АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ

Настройку антенной системы, показанной на рис. 19.6, осуществляют следующим образом. К катушке $L3$ подключают длинноволновый генератор, индуктивности катушек $L1$ и $L2$ устанавливают на максимум и определяют резонансную частоту системы (например, по ВЧ-напряжению на части витков $L2$). Затем, уменьшая индуктивность $L1$, «загоняют» резонанс системы в диапазон 136 кГц. Если это необходимо, то переключают и витки катушки $L2$. Необходимо обратить внимание на то, что переключаемые витки катушек должны быть замкнуты, как это показано на рис. 19.6. Недопустимо их оставлять «висячими».

После настройки системы на диапазон 136 кГц с помощью генератора к катушке связи $L3$ подключают реальный выходной каскад, работающий в диапазоне 136 кГц, и в основание $L2$ включают высокочастотный амперметр. С помощью изменения индуктивности $L1$ путем плавной подстройки короткозамкнутым витком индуктивности $L2$, изменением количества витков катушки $L3$ добиваются максимальной отдачи мощности.

Настройку системы необходимо производить на той мощности, на которой предполагается работа усилителя мощности. Как показывает опыт, при разных отдаваемых мощностях усилитель имеет разное выходное сопротивление, что ведет к необходимости подстройки антенной системы в резонанс и определению оптимального

числа витков катушки связи $L3$. Оперативно производить подстройку антенны по зону работы можно с помощью неоновой лампочки, приклеенной липкой лентой внутри катушки $L1$ или $L2$.

Витки на катушке $L1$ необходимо переключать только с помощью пайки и обязательно при выключенном передатчике. На катушках $L1$ и $L2$ присутствует высокое напряжение при передаче, так что следует остерегаться их касания. Поскольку емкость антенны, а следовательно, и индуктивность удлиняющих катушек зависит от состояния заземления, то эта емкость может «плавать» при смене погоды, сезона года, что может потребовать дополнительной подстройки антенны. Также потребуется подстройка антенны и при изменении мощности передатчика или при смене РА.

Вместо катушки связи $L3$ можно использовать трансформатор, включенный в основание антенны, как показано на рис. 19.8. Обмотка трансформатора, включенная в антенну, может содержать 10...15 витков

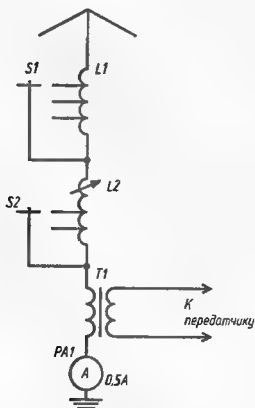


Рис. 19.8. Трансформатор, включенный в основание антенны

гибкого провода диаметром 1...2 мм, катушка связи с генератором — 20...40 витков. Для сверденника трансформатора можно использовать кольца от отклоняющей системы телевизоров.

ДРУГИЕ СПОСОБЫ СОГЛАСОВАНИЯ АНТЕНН ДИАПАЗОНА 136 КГц

Способы согласования антенн диапазона 136 кГц, описанные выше, наилучшие. Другив способы (использование настроенных трансформаторов, параллельных контуров, способы симметричного питания антенн) неприменимы для радиолюбительских условий и имеют малый КПД. Следует понимать, что для работы на диапазоне 136 кГц необходимо иметь специально настроенную для этого диапазона антенну. Использование неприспособленных для этого антенн или работа на горизонтальные антенны в этом диапазоне не дают желаемых результатов.

ГЛАВА 20

СОГЛАСУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА СИ-БИ ДИАПАЗОНА

При эксплуатации Си-Би радиостанции в квартире часто нет возможности расположить радиостанцию около антенны, да и входное сопротивление антенны не всегда равно волновому сопротивлению кабеля. Лучший выход из этого положения — использование простого согласующего устройства между антенной и коаксиальным кабелем. Если антенна Си-Би диапазона сконструирована специально для работы на нем, то уже несложное согласующее устройство будет работать с высоким КПД.

РЕЗОНАНСНОЕ СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Схема эффективного согласующего устройства приведена на рис. 20.1. Устройство имеет несимметричные вход и выход, так как в большинстве случаев при работе на Си-Би используются несимметричные антенны. Это устройство хорошо согласует входное сопротивление антенны от 15 Ом до 1 кОм с коаксиальным кабелем волновым сопротивлением 50...75 Ом, что позволяет подключать к согласующему устройству как штатные укороченные спиральные антенны Си-Би радиостанций, так и просто отрезок провода любой длины. Это согласующее устройство хорошо справляется с активной и реактивной составляющими импеданса подключенной к нему антенны.

Согласующее устройство выполнено в коробке из фольгированного стеклотекстолита размерами 60×80×60 мм. Катушка L_2 выполнена из медного провода толщиной 1,5 мм, бескарксовая, содержит 6,5 витка, диаметр ее 25 мм, длина намотки 40 мм. «Холодный» конец припаян ко дну коробки, а «горячий» — к ротору конденсатора C_1 . Катушка L_1 содержит два витка такого же провода, расположена она поверх L_2 в ее нижней части. По длине намотки

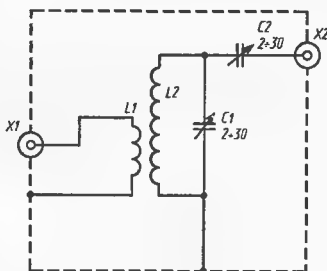


Рис. 20.1. Резонансное согласующее устройство

катушка $L1$ занимает примерно третью часть катушки $L2$. Конденсаторы $C1$ и $C2$ выведены наружу для настройки согласующего устройства на реальную антенну.

Данное согласующее устройство является резонансным и исключает помехи телевидению. Если они все же будут, можно включить фильтр ТВ на выходе радиостанции. При использовании согласующего устройства это возможно, потому что выходное сопротивление РА трансивера равно волновому сопротивлению кабеля и фильтра. Настраивать согласующее устройство можно с помощью КСВ-метра на выходе радиостанции или простого измерителя напряженности поля.

Согласующее устройство, показанное на рис. 20.1, имеет свой недостаток — в нем используются два переменных конденсатора, причем один из них с изолированным от «земли» статором. Хотя данное согласующее устройство работает весьма эффективно, можно обойтись упрощенной конструкцией согласующего устройства.

УПРОЩЕННОЕ СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Схема упрощенного согласующего устройства Си-Би показана на рис. 20.2. Это устройство представляет собой параллельный контур, к которому к части его витков подключается коаксиальный кабель от Си-Би радиостанции, а к другой части витков подключается антенна. Это согласующее устройство может согласовать антенну с входным сопротивлением $20 \dots 600$ Ом с коаксиальным кабелем волновым сопротивлением $50 \dots 75$ Ом.

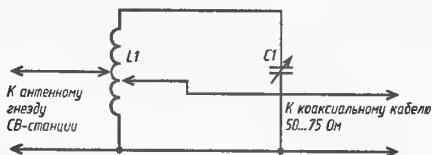


Рис. 20.2. Упрощенное согласующее устройство

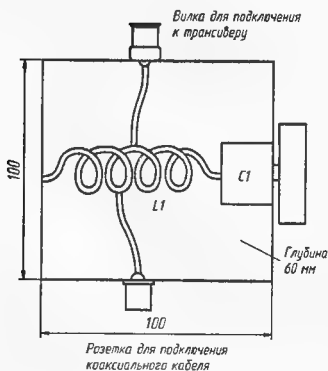


Рис. 20.3. Конструкция согласующего устройства

Это согласующее устройство компенсирует реактивные составляющие импеданса антенны (емкостные лучше индуктивных).

Катушка индуктивности, используемая в согласующем устройстве, бескварсовая. Она намотана медным проводом диаметром $1 \dots 2$ мм на оправке диаметром 20 мм и растянута на длину 40 мм, число витков 10. Кабель вначале подключают к второму витку. Низкоомную антенну подключают к второму—третьему витку, а высокоомную — примерно к шестому—седьмому витку. Конденсатор переменной емкости, используемый в СУ, должен быть воздушным, керамический конденсатор снижает КПД устройства.

Конструктивно устройство можно оформить в виде, показанном на рис. 20.3. Коробка может быть выполнена из листовой меди или фольгированного стеклотекстолита. Стыки должны быть тщательно пропаяны. После настройки коробку закрывают крышкой, крышку запаивают и конденсатор подстраивают еще раз.

НАСТРОЙКА СОГЛАСУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Согласующие устройства, описанные выше, можно настроить в режиме приема, используя сигналы Си-Би радиостанций. В режиме передачи для настройки СУ можно использовать измеритель напряженности поля. Лучший вариант настройки — по максимуму тока в антенне. Для этого необходимо использовать *высокочастотный амперметр*. Настройка согласующего устройства по минимуму КСВ на выходе трансивера часто не дает желаемого результата из-за возможности ложной настройки.

РАСПОЛОЖЕНИЕ СОГЛАСУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Конечно, оптимальный вариант размещения АТУ — непосредственно на антенне, особенно если входное сопротивление антенны существенно отличается от волнового сопротивления кабеля. Это может быть случайная суррогатная антенна в виде длинного провода произвольной длины, высокоомная антенна Бевереджа или ромбическая антенна, которые используются без согласующего трансформатора.

Если это невозможно, то согласующее устройство располагают как можно ближе к согласуемой с его помощью антенне. Этот случай возможен, когда для работы на Си-Би используются антенны, не предназначенные для работы на этом диапазоне. Как показывает опыт, с помощью этих согласующих устройств можно неплохо согласовать антенну диапазона 28 МГц для работы на Си-Би. Некоторые антенны низкочастотных КВ-диапазонов тоже неплохо согласуются в Си-Би диапазоне.

Выходной каскад Си-Би трансиверов промышленного изготовления выдерживает работу с КСВ = 2. Это означает, что трансивер с 50-омным выходом может работать с антенной, имеющей входное сопротивление от 25 до 100 Ом. Как показывает опыт, использование АТУ прямо на выходе радиостанции (даже в случае использования антенн, рассчитанных для работы на Си-Би) позволяет повысить ток в антенне не менее чем на 30%. При использовании АТУ, показанного на рис. 20.1, существенно снижаются помехи телевидению, увеличивается динамический диапазон работы приемника.

Понятно, что не всегда возможно использовать два АТУ (одно на выходе трансивера, а другое непосредственно на антенне), но такое включение повышает эффективность работы Си-Би трансиверов.

Следует еще отметить, что хотя многие Си-Би трансиверы имеют паспортную выходную мощность 5 Вт, но реально выходная мощность этих трансиверов на нагрузке 50 Ом часто составляет не более 2 Вт. При измерении мощности на этой же нагрузке, подключенной к трансиверу через АТУ, она составляла уже 3 Вт и более.

Конечно, согласующее устройство не заменит мощный РА, но увеличит дальность связи при использовании даже антенны, имеющей входное сопротивление 50 Ом и, следовательно, согласованной с коаксиальным кабелем.

ГЛАВА 21

СОГЛАСУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ДИАПАЗОНА 50 МГц

Диапазон 50 МГц еще недоступен для широкого использования радиолюбителями в странах СНГ. Для экспериментальной работы на диапазоне 50 МГц не всегда

используются антенны, специально рассчитанные для этого диапазона, особенно если радиолюбитель только начинает работать на нем. Поэтому рассмотрим согласующие устройства, которые можно использовать на этом диапазоне.

СПЕЦИФИКА ДИАПАЗОНА 50 МГц

На диапазоне 50 МГц существуют два механизма распространения радиоволн — тропосферное и ионосферное. Ионосферное распространение бывает сравнительно редко. Во время этого распространения при небольших подаваемых мощностях к антенне (1...5 Вт) возможны связи на очень большие расстояния. При возникновении ионосферного прохождения можно использовать на диапазоне 50 МГц антенны, предназначенные для работы на других диапазонах, или простые суррогатные антенны, согласовав их с помощью простых АТУ. Диапазон 50 МГц является промежуточным между КВ и УКВ диапазонами. Это означает, что АТУ, выполненные на обычных катушках и конденсаторах, работают уже не эффективно. Применение коаксиальных резонаторов в согласующих устройствах диапазона 50 МГц, по нашему мнению, не оправдано, так как они имеют значительные размеры. При хорошем ионосферном прохождении вполне сносно будут работать АТУ, выполненные на сосредоточенных элементах.

Сказанное выше относилось к использованию антенн, не предназначенных для работы на диапазоне 50 МГц. Если же используется антенна, специально предназначенная для работы на диапазоне 50 МГц и имеющая входное сопротивление, равное волновому сопротивлению кабеля, то для согласования выходного каскада с кабелем необходимо использовать резонансное согласующее устройство на коаксиальном резонаторе, или вообще не использовать согласующие устройства между трансивером и коаксиальным кабелем. Использовать специальные антенны в диапазоне 50 МГц рационально в том случае, если радиолюбитель планирует вести серьезную работу, используя не только ионосферное, но и тропосферное прохождение, а также метеорную радиосвязь. При тропосферном прохождении можно проводить регулярные устойчивые связи до 2000...5000 км в зависимости от используемой мощности.

Практически всегда возможна метеорная связь с использованием коротких бурстов, а во время мощных метеорных потоков возможна даже FONE-связь через метеоры. Но для проведения тропо- и метеорных связей необходима достаточная мощность и хорошие направленные антенны. Стоит заметить, что по сообщениям зарубежных изданий, радиолюбители Запада для этого используют мощности не менее 1 кВт, и 5–10 элементные антенны.

Промышленные станции тропосферной связи имеют мощность не менее 5 кВт и антенны, обладающие усилением не менее 20 дБ. Эти станции обеспечивают устойчивую связь на расстояние не менее 2000 км.

Ниже рассмотрим простое согласующее устройство диапазона 50 МГц, предназначенное для проведения ионосферных связей и выдерживающее подводимую к нему мощность до 100 Вт.

ПРОСТОЕ СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДИАПАЗОНА 50 МГц

Простое согласующее устройство, показанное на рис. 21.1, позволяет согласовать с выходом трансивера любую антенну, предназначенную для использования на диапазоне КВ. Конечно, наилучшие результаты можно получить с использованием КВ антенны, питаемой с помощью открытой линии или антенны типа LVV, подключаемой к передатчику без фидерных линий.

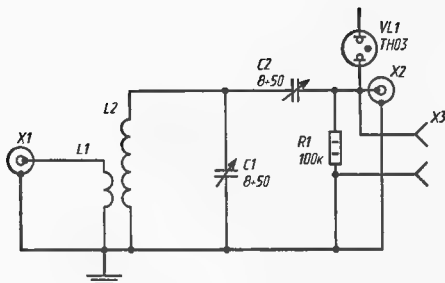


Рис. 21.1. Простое согласующее устройство диапазона 50 МГц

Согласующее устройство позволяет осуществить согласование сопротивлений от 15 Ом до 1 кОм с 50-омным трактом с КПД не менее 70%. Катушка $L2$ выполнена проводом типа ПЭЛ-2,0. Она намотана на оправке диаметром 16 мм, а затем растянута на длину 24 мм. Содержит эта катушка 8 витков. Катушка $L1$ выполнена из провода типа ПЭЛ-1,0. Она содержит 3 витка. Катушка бескаркасная, намотана сверху катушки $L2$ около ее «холодного» конца на длине примерно 5 мм.

Резистор $R1$ служит для снятия статического напряжения, накопленного антенной.

Настройку антенны осуществляют с помощью неоновой лампочки $VL1$, если антенна высокоомная, или внешнего высокочастотного амперметра в цепи антенны. Хорошие результаты дает использование индикатора напряженности поля. Вначале емкость конденсатора $C2$ устанавливают минимальной. С помощью конденсатора $C1$ настраивают контур в резонанс, затем постепенно увеличивают емкость конденсатора $C2$, добиваясь максимального тока, отдаваемого в антенну. Используя в качестве $C1$ и $C2$ подстроечные конденсаторы типа КПВ-1, можно обеспечить согласование уровня мощности до 30 Вт.

Согласующее устройство собрано в корпусе, спаянном из фольгированного стеклотекстолита размерами 100×70×50 мм. Гнездо $X2$ предназначено для подключения антенн, использующих для своего питания коаксиальный кабель, гнездо $X3$ — антенн, питаемых по длинной линии или для подключения однопроводных антенн. В качестве ламелей в этом гнезде использовались винты М3.

ГЛАВА 22

СОГЛАСУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ДИАПАЗОНА 144 МГц

Применение согласующих устройств в диапазоне 144 МГц имеет свои особенности по сравнению с использованием подобных устройств в КВ диапазоне.

Антенны на УКВ обычно разноразмерные, и выполненные строго по размерам, они уже будут согласованными с кабелем и выходом передатчика. Но при изготовлении антенны неизбежны погрешности при измерении длины ее элементов. Волновое сопротивление коаксиального кабеля может отличаться от стандартного до 5...10%.

Проявляются различные дестабилизирующие факторы, влияющие на входное сопротивление антенны. Но обычно входное сопротивление антенн на УКВ не сильно

но отличается от их расчетного. Вследствие этого диапазон согласуемых сопротивлений невелик, и составляет не более 50% от входного сопротивления антенны. Для антенны с расчетным сопротивлением 50 Ом ее реальное сопротивление будет находиться в пределах 25...75 Ом. Это упрощает согласование на УКВ диапазоне.

Определенные трудности представляет измерение КСВ. Если даже сам измеритель КСВ выполнен качественно и работает на диапазоне 144 МГц, это не означает, что его показания будут отражать реальный КСВ антенны. При некачественном кабеле (старом, подмоченном) отраженная волна будет им существенно поглощаться, и КСВ любой, даже самой плохой антенны, будет близок к единице. Если есть сомнения в качестве кабеля, необходимо измерить его потери на УКВ, т. е. измерить мощность, поступающую и снимаемую с него. Наилучший вариант измерять КСВ — непосредственно на антенне.

При владке УКВ антенн желательно измерять напряженность поля совместно с КСВ. Желательно также иметь контрольную согласованную антенну — диполь или четвертьволновый штырь и проверить КСВ кабеля и напряженность поля совместно с ней, а затем совместно с измеряемой антенной.

Следует учитывать наличие лепестков в диаграмме направленности при измерении уровня напряженности поля.

ПРОСТЫЕ СОГЛАСУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ДИАПАЗОНА 144 МГц

Простое согласующее устройство УКВ представляет собой обыкновенный П-контур (рис. 22.1). Емкость переменных конденсаторов равна 2...15 пФ, катушка содержит 2 витка провода диаметром 1 мм, намотанных на оправке диаметром 10 мм, расстояние между витками 5 мм, длина выводов катушки не более 15 мм. Это АТУ позволяет согласовать активную нагрузку от 30 до 300 Ом с передатчиком, имеющим выход 50 или 75 Ом.

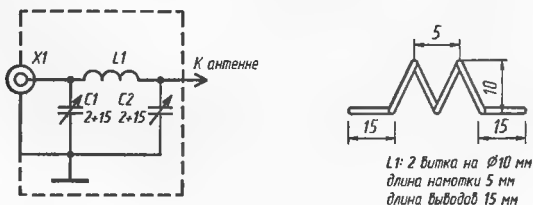


Рис. 22.1. Простое согласующее устройство УКВ

Это устройство позволяет согласовать 50-омный выход передатчика с нагрузкой от 30 до 100 Ом и КПД не менее 80%. При экспериментальном согласовании нагрузки активным сопротивлением от 100 до 300 Ом КПД устройства был не хуже 60%. При согласовании нагрузки активным сопротивлением от 10 до 30 Ом КПД был не хуже 50%. При использовании кабеля волновым сопротивлением 75 Ом результаты были примерно аналогичными. Данное согласующее устройство полезно при согласовании любых типов антенн, имеющих расчетное входное сопротивление, близкое к волновому сопротивлению кабеля. Оно будет полезно при использовании его как выходе передатчика, особенно если длина кабеля до антенны превышает 20 м, так и на входа антенны одновременно.

АТУ имеет КСВ в КВ диапазонах 1,8...50 МГц не хуже 1,2. Это позволяет установить АТУ непосредственно на антенне, работающей на каком-либо любительском КВ диапазоне, и согласовать эту же антенну для работы на диапазоне 144 МГц, не изменяя при этом режим работы антенны в диапазоне КВ. Это дает возможность создавать универсальные антенные системы, работающие как на КВ, так и УКВ диапазонах, при питании через один кабель, использовать старые КВ антенны для работы на УКВ. Особенно хорошее согласование может быть получено при использовании двух согласующих устройств: одного непосредственно на антенне и другого на выходе передатчика.

При использовании АТУ (с данными на рис. 22.1) для согласования выхода УКВ передатчика с кабелем питания УКВ антенны (50 или 75 Ом) обычно удается согласовать передатчик с кабелем. Однако далеко не всегда удается получить согласование передатчика с кабелем, а кабеля с антенной при использовании антенн КВ для работы на УКВ. Это объясняется тем, что антенна КВ в диапазоне УКВ может иметь аходное сопротивление с большой реактивной составляющей. АТУ (рис. 22.1) эффективно согласует лишь активные составляющие, но и они в диапазоне 144 МГц для нерезонансных антенн могут лежать за пределами согласования, хотя, как показывает опыт, чем длиннее КВ антенна, тем ее проще согласовать для работы на УКВ.

Эту проблему можно решить достаточно просто. Первое, что необходимо сделать, это немного изменить число витков в катушке АТУ. Оно может быть от 1 до 5, ее диаметр от 5 до 15 мм и расстояние между витками от 1 до 7 мм. Обычно подобные эксперименты не представляют трудностей, и при наборе заранее изготовленных катушек проходят быстро. Очень эффективно включение индуктивности на выходе АТУ (рис. 22.2). Такая дополнительная катушка содержит от 2 до 5 витков провода диаметром 0,8...1,5 мм. Ее диаметр от 5 до 15 мм, расстояние между витками 2...7 мм. Обычно, варьируя этой катушкой и катушкой П-контура, можно настроить для работы в диапазоне 144 МГц практически любую однопроволочную антенну длиннее 10 см.

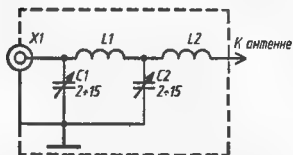


Рис. 22.2. Простое согласующее устройство УКВ с дополнительной индуктивностью

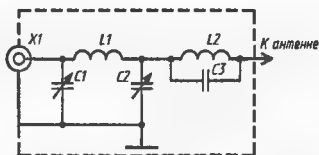


Рис. 22.3. Усложненное согласующее устройство диапазона УКВ

Иногда, в трудных случаях согласования, может понадобиться включение на выходе П-контура конденсатора емкостью 10...50 пФ, переменного или постоянного (рис. 22.3). Параллельно конденсатору включен дроссель (10 витков провода ПЭЛ-1 на оправке 10 мм, расстояние между витками 1 мм), не имеющий с ним резонанса в диапазоне 144 МГц и в диапазоне работы КВ антенны. Дроссель должен иметь малое сопротивление в диапазоне КВ. Это дает возможность использовать АТУ (рис. 22.3) с уже имеющимися КВ антеннами. При настройке КВ антенны для работы в диапазоне УКВ можно получить ложную настройку, когда КСВ системы будет равен практически 1, но излучение антенны будет мало.

Хорошо, если в наличии радиолюбителя имеется простейший индикатор напряженности поля. В этом случае очень полезно измерить напряженность поля, созда-

ваемую контрольной УКВ антенной и антенной КВ диапазона, используемой на УКВ. Напряженность поля измеряют в достаточно удаленной точке (на пределе чувствительности индикатора ВЧ).

Следует заметить, что длинные КВ антенны — линейные диполи, слоперы и особенно антенны, имеющие отличную от линейной конфигурации формы — например рамки, создают на КВ достаточно сложную диаграмму направленности, которая содержит многочисленные лепестки, но различия между максимумами и минимумами напряженности поля в диаграмме направленности таких антенн обычно не превышает 10 дБ.

Необходимо обратить внимание на следующее. Антенны для диапазона УКВ обычно имеют небольшие линейные размеры, причем часто используются достаточно эффективные меры по их грозозащите, которая выражается в том, что полотно антенны заземлено на мачту. Антенны, работающие на КВ диапазонах, имеют большие

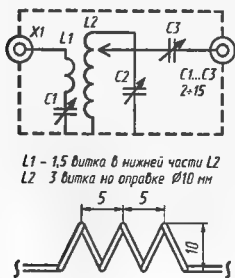


Рис. 22.4. АТУ резонансного типа

линейные размеры и часто не имеют эффективной грозозащиты. В диапазонах КВ используются значительные индуктивности и емкости в П-контурах выходных каскадов, даже в диапазоне 28 МГц. Многие усилители мощности КВ диапазонов собраны на лампах, что делает их более устойчивыми к атмосферному электричеству. Современные усилители мощности для диапазона УКВ в большинстве случаев собраны на транзисторах. Емкости П-контуров невелики, и что самое важное, их рабочее напряжение также невысоко (обычно не превышает 100 В). Это дает выходные каскады УКВ передатчиков уязвимыми для статического электричества. Наиболее простой способ защиты выхода УКВ передатчика — включение на его антенном гнезде

дресселя, аналогичного, показанному на рис. 22.3. Этот дроссель существенно ограничит энергию грозовых разрядов, попадающих на выход РА, и полностью исключит накопление статического электричества антенной. Но наиболее радикальный способ защиты РА от воздействия атмосферного электричества — использование на его выходе АТУ резонансного типа (рис. 22.4).

Катушка L_2 содержит 3 витка посеребренного провода диаметром не менее 2 мм, ее внутренний диаметр 10 мм, расстояние между витками 5 мм, длина выводов не более 10 мм. Катушка L_1 содержит 1,5 витка посеребренного провода диаметром 1 мм и располагается в нижней части L_2 , между ее первым и вторым витками. Это АТУ использует резонансный метод согласования и поэтому даже теоретически его КПД в диапазоне 144 МГц не может быть выше 80%. Практические измерения подтвердили это; КПД был не более 60% в диапазоне 144...150 МГц. Несколько увеличить КПД можно включением непосредственно на выхода этого АТУ еще одного АТУ, аналогичного приведенному на рис. 22. 1.

Хотя при работе на передачу резонансное АТУ (рис. 22.4) «теряет» почти половину мощности передатчика, при работе на прием оно вполне может дать существенный эффект. Это особо проявляется при использовании длинных КВ антенн для работы на УКВ. Резонансное АТУ способно устранить перегрузку приемника радиостанции от мощных внеполосных сигналов радиостанций, работающих как на КВ диапазонах, так и УКВ диапазонах — сигналов телецентров и служебных УКВ радиостанций. Устройство, показанное на рис. 22.4, гораздо сложнее в наладке, возможны его ложные настройки, когда при отличном КСВ в кабеле совместно с ним будет

отсутствовать отдача мощности. Поэтому при его использовании крайне важно наличие индикатора напряженности поля во время настройки АТУ. Обратите внимание, что это АТУ должно быть расположено на выходе УКВ передатчика и не может располагаться на КВ антеннах (для обеспечения их работы на диапазонах КВ и УКВ), поскольку оно резонансного типа и его КСВ в диапазоне КВ близок к бесконечности.

При настройке этого АТУ целесообразно иметь магазин конденсаторов емкостью от 1,5 до 30 пФ, которые будут использованы в качестве СЗ. Во время настройки последовательно, начиная с конденсатора меньшей емкости, заменяют СЗ большей емкости, настраивают АТУ по минимальному КСВ и на максимальную отдачу мощности (по индикатору напряженности поля). Обычно удовлетворительное согласование возможно получить только подключив конденсатор СЗ к части витков катушки L2. Использование в качестве СЗ переменного конденсатора с воздушным диэлектриком также возможно, хотя менее эффективно, поскольку обычно переменный конденсатор имеет большие размеры и, следовательно, обладает значительной емкостью (для УКВ) на «землю». Это приведет к снижению КПД устройства в диапазоне УКВ.

Описанные выше согласующие устройства выполнены в корпусе из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита. Конденсаторы использовались с высокой добротностью воздушные от старых УКВ радиостанций, все соединения максимально короткие, корпус АТУ тщательно пропаян. При использовании АТУ непосредственно на антенне необходимо принять меры по его влагоизоляции. Следует заметить, что хотя КСВ АТУ (рис. 22.1–22.3) в диапазоне КВ мал, их использование все же может немного сдвинуть резонансные частоты антенн, работающих в верхних КВ диапазонах (особенно укороченных, что потребует дополнительной подстройки этих антенн для КВ диапазонов). Также следует обратить внимание, что некоторые антенны КВ диапазонов по своим конструктивным особенностям не могут быть использованы для работы на 144 МГц из-за того, что их вход принципиально несогласуем в диапазоне УКВ. Это, например, антенны с гамма-согласованием, антенны с базовой удлиняющей катушкой, антенны, использующие резонансные цепи КВ диапазонов на своем входе, и некоторые другие типы антенн.

Согласующие устройства, приведенные здесь, работоспособны во всем любительском диапазоне 144...146 МГц без перестройки конденсаторов при смене крайних частот диапазона.

РЕЗОНАНСНОЕ СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО НА КОАКСИАЛЬНОМ РЕЗОНАТОРЕ

Современная загруженность УКВ диапазонов — как служебными, так и телевизионными и вещательными радиостанциями, предъявляет повышенные требования к УКВ аппаратуре любительской радиосвязи. Основные из них — чистота излучаемого спектра сигнала передатчика и избирательность приемника по отношению к внеполосным сигналам. К сожалению, не всегда эти требования полностью удовлетворяются в одной радиостанции.

Действительно, используя современную радиостанцию с синтезатором частоты, управляющим ГУН (который работает непосредственно в УКВ диапазоне), можно достаточно просто получить чистый спектр сигнала при передаче. Но в то же время некоторые малогабаритные промышленные переносные трансиверы, использующие синтезатор при приеме и передаче и, как правило, имеющие широкий диапазон по приему (130...150 МГц), имеют широкополосный УКВ фильтр на входе приемника, перестраиваемый по диапазону варикапами. Вследствие излишне широкой полосы пропускания входных фильтров возможно появление помех во время приема со стороны близко расположенных УКВ радиостанций.

Самодельные трансвертеры обычно излучают достаточно сильный внеполосной сигнал, отстоящий на частоту ПЧ (обычно 21 или 28 МГц) от любительского диапазона 144 МГц. Это может привести к помехам телевидению. Даже в спектре сигналов приема и передачи одноканальных радиостанций, частоты гетеродина приемника и передатчика которых стабилизированы кварцами и используется умножение частоты, могут появиться каналы внеполосного приема и излучения вследствие неправильной настройки каскадов умножителей частот гетеродина приемника и передатчика.

Значительно решить эти проблемы поможет согласующее устройство на коаксиальном резонаторе, схема которого приведена на рис. 22.5, а конструкция — на рис. 22.6.

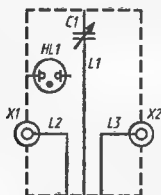


Рис. 22.5. Согласующее устройство на коаксиальном резонаторе

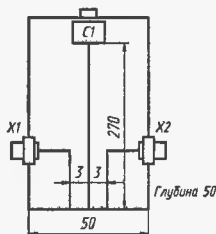


Рис. 22.6. Конструкция согласующего устройства на коаксиальном резонаторе

Согласующее устройство представляет собой коаксиальный резонатор $L1C1$, который через катушку связи $L2$ связан с передатчиком, а через катушку $L3$ — с антенной. Корпус устройства выполнен из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита (кроме верхней крышки, выполненной из одностороннего стеклотекстолита), швы на стыках тщательно пропаяны. Сам резонатор выполнен из полоски двухстороннего фольгированного стеклотекстолита шириной 15 мм. Фольга припаяна ко дну и на верху резонатора две полоски фольги соединены вместе. Лампочка $HL1$ фиксирует прохождение через резонатор при передаче мощности, следовательно передатчик исправлен, конденсатор $C1$ не пробивается, а устройство настроено на частоту передачи трансивера. Катушки связи $L2$ и $L3$ выполнены из медного провода диаметром 1,5 мм (желательно посеребренного). Коаксиальный резонатор идеально защищает вход трансивера от атмосферного электричества, что особенно важно для полупроводниковых современных трансиверов, микросхемы приемника и передатчика которых могут выйти из строя при воздействии статического заряда.

Настройка АТУ проста. Подключив через КСВ-метр выход трансивера на реальную антенну, при помощи конденсатора $C1$ устанавливают минимальный КСВ, затем изменением расположения $L2$ и $L3$ (расстояния между ними и резонатором, можно немного изменять их длину) добиваются дальнейшего понижения КСВ. Практически с любой согласованной антенной вполне достижим КСВ не хуже 1,2. При использовании случайных и суррогатных антенн, а также размещении АТУ непосредственно на антенне катушка связи $L3$ может быть как больше, так и меньше рекомендуемой длины. Использование индуктивной связи значительно снижает уровень помех при приеме и уровень внеполосных излучений за счет дополнительной фильтрации гармоник и субгармоник коаксиальным резонатором.

При испытаниях АТУ были получены следующие результаты. Полоса пропускания по уровню 0,7 не менее 2,5 МГц. Полоса пропускания по уровню минус 20 дБ около

30 МГц. Полоса пропускания по уровню 0,5 не более 10 МГц. Выявлена возможность согласования нагрузки сопротивлением от 30 до 100 Ом с коаксиальным кабелем 50 или 75 Ом. Это позволит использовать любой имеющийся коаксиальный кабель для питания антенны и использовать АТУ с трансивером, имеющим выход 50 или 75 Ом. Хотя резонатор и имеет затухание в полосе пропускания (которое можно определить посредством соответствующих измерений), было обнаружено, что при использовании эквивалента антенны совместно с реальным передатчиком и согласующим устройством мощность, рассеиваемая на эквиваленте, получается выше на 10...30% мощности, которая рассеивается на эквиваленте без использования АТУ — коаксиального резонатора.

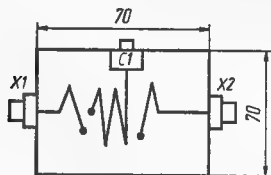
Особенно большой выигрыш был получен при испытании переносных радиостанций, использующих для работы спиральную антенну. Это возможно потому, что согласующее устройство выходного каскада такого трансивера не обеспечивает точного его согласования с нагрузкой, особенно в простых переносных радиостанциях. Использование АТУ позволяет достичь оптимального согласования реального трансивера с реальной антенной системой.

Измерения напряженности поля, создаваемого стандартной согласованной штыревой антенной при использовании трансивера совместно с согласующим устройством и без него, подтвердили результаты, полученные на активную нагрузку. При работе радиостанции на прием совместно с АТУ на коаксиальном резонаторе была выявлена возможность работы с более «открытым» шумоподавлятелем, что эквивалентно увеличению чувствительности. Во время испытаний (при создании специальных помех) радиостанции с резонатором — согласующим устройством были значительно более устойчивы к помехам, чем при работе без резонатора.

В согласующем устройстве при подводимой мощности до 12 Вт будут хорошо работать конденсаторы с зазором 0,5 мм, свыше 40 Вт — 1 мм. Еще раз обращаем внимание на необходимость тщательной запайки резонатора, так как без верхней крышки даже при небольшой подводимой к нему мощности он создает большой уровень напряженности электромагнитного поля далеко за пределами своей конструкции. При использовании антенн, имеющих КСВ более 2, такое согласующее устройство целесообразно устанавливать непосредственно на антенне, приняв, конечно, меры по его защите от влаги.

ПРОСТОЕ РЕЗОНАНСНОЕ СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

При мощности радиостанции до 10 Вт можно использовать резонатор на катушке. Внешний вид этого согласующего устройства показан на рис. 22.7. Размеры такого АТУ значительно меньше, чем АТУ на коаксиальном резонаторе, а эффективность (конечно, на малых подводимых мощностях) не намного ниже. Настраивают его аналогично АТУ на коаксиальном резонаторе.



$L1 = L3 = 3/4$ витка, $\varnothing 20$ мм,
провод ПЭЛ - 1,5
 $L2 = 2,5$ витка, $\varnothing 25$ мм,
провод ПЭЛ - 1,5

Рис. 22.7. Простое резонансное согласующее устройство

Вначале при помощи конденсатора $C1$ устанавливают минимальный КСВ, затем изменением положения катушек связи $L1$ и $L3$ добиваются оптимальной связи трансивера с АТУ и АТУ с антенной, постоянно контролируя КСВ и, желательно, уровень напряженности поля.

При испытании этого согласующего устройства была выявлена возможность достижения КСВ не более 1,3 при сопротивлении нагрузки от 30 до 110 Ом. Испытания проводились при выходе передатчика 50 Ом. При выходе 75 Ом можно было согласовать нагрузку от 40 Ом до 120 Ом. При этом катушки связи $L1$ и $L3$ содержали по одному витку.

Данное согласующее устройство выполнено в корпусе из фольгированного стеклотекстолита размерами 70×70×50 мм. Катушки тщательно припаяны ко дну корпуса. После запайки верхней крышки согласующее устройство подстраивают окончательно с помощью конденсатора $C1$.

ДИАПАЗОНЫ ЧАСТОТ И ВИДЫ РАДИОСВЯЗИ, РАЗРЕШЕННЫЕ ЛЮБИТЕЛЬСКИМ РАДИОСТАНЦИЯМ. ЧАСТОТЫ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАНАЛОВ

ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ ДИАПАЗОНЫ

В табл. П.1.1 приведены частоты КВ диапазонов, в которых могут работать любительские радиостанции. Кроме этого разрешено работать в длинноволновом участке 135,7...137,8 кГц телеграфом с максимальной мощностью, подводимой к оконечному каскаду, 100 Вт.

Частотный план диапазонов 50 МГц показан на рис. П.1.1

Таблица П.1.1

ЧАСТОТЫ, НА КОТОРЫХ РАЗРЕШЕНА РАБОТА В РОССИИ

КВ диапазоны	
Полоса частот, кГц	Вид радиосвязи
1810...1840	CW
1840...1900	SSB.CW
1900...2000	AM.SSB, CW
1820...1840	CW
1840...1900	SSB.CW
1900...2000	AM.SSB, CW
1830...1850	CW
1850...1900	SSB.CW
1900...2000	AM.SSB, CW
3500...3580	CW
3580...3600	
3600...3620	SSB, цифровая связь, CW
3620...3650	SSB, CW
3650...3800	SSB, CW
7000...7035	CW
7035...7040	Цифровая связь, CW
7035...7045	SSTV
7040...7045	SSB, цифровая связь, CW
7045...7100	SSB, CW
10100...10140	CW
10140...10150	Цифровая связь, CW
14000...14070	CW
14070...14100	Цифровая связь, CW
14100...14112	SSB, Цифровая связь, CW
14112...14350	SSB, CW

Таблица П.1.1
(Окончание)

КВ диапазоны	
Полоса частот, кГц	Вид радиосвязи
14225...14235	SSTV, FAX
18068...18100	CW
18100...18110	Цифр., CW
18110...18318	SSB, CW
21000...21080	CW
21080...21120	Цифровая связь, CW
21120...21150	CW
21150...21450	SSB, CW
21335...21345	SSTV
24890...24920	CW
24920...24930	Цифр., CW
24930...24990	SSB, CW
24930...25140	SSB, CW
28000...28050	CW
28050...28150	Цифровая связь, CW
28150...28200	CW
28200...28700	SSB, CW
28675...28685	SSTV
28700...28800	SSB, AM, CW
29200...29300	FM, AM, SSB, CW
29300...29520	SSB, CW (прием сигналов с ИСЗ)
29520...29700	FM, SSB, CW
УКВ диапазоны	
Полоса частот, кГц	Вид радиосвязи
144000...144150	CW
144150...144500	SSB, CW
144500...145800	FM
145800...146000	SSB, CW
144525...144675	Цифровая связь
430000...432150	CW
432150...432500	SSB, CW
432500...435000	FM
435000...438000	SSB, CW
438000...440000	FM
433625...433725	Цифровая связь
438025...438175	Цифровая связь SSB,
1260000...1270000	CW
1270000...1296000	FM
1296000...1296150	CW
1296150...1297000	SSB, CW
1297000...1300000	FM

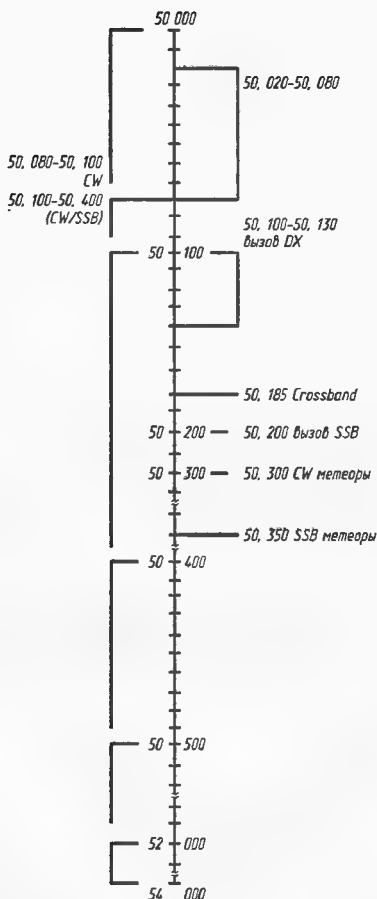


Рис. П.1.1. Частотный план диапазона 50 МГц

Первые 10 кГц всех диапазонов используются для проведения DX-связей. Для работы на QRP радиолюбители обычно используют отдельные сегменты частот внутри диапазона. Частоты работы QRP-станций приведены в табл. П.1.2. По возможности следует воздерживаться от работы на этих частотах мощностью, превышающей 10 Вт.

ЧАСТОТЫ РАБОТЫ QRP-СТАНЦИЙ

Диапазон, м	Род работы	
	CW	SSB
160	1,843 МГц	—
80	3,560 МГц	3,690 МГц
40	7,030 МГц	7,090 МГц
30	10,106 МГц (10,116 МГц)	—
20	14,060 МГц	14,285 МГц
17	18,086 МГц	18,130 МГц
15	21,060 МГц	21,385 МГц
12	24,906 МГц	24,950 МГц
10	28,060 МГц	28,865 МГц
6	60,060 МГц	50,885 МГц
2	144,060 МГц	144,285 МГц

Полосы частот 3500...3650 кГц, диапазоны 7, 14, 21, 28 МГц выделены радиолюбителям на первичной основе. При работе на этих диапазонах можно не опасаться создавать помехи служебным и вещательным станциям. Остальные диапазоны выделены на вторичной основе, что означает, что на этих диапазонах недопустимо создавать помехи другим службам и по троеванию служебных радиостанций необходимо менять частоту своей работы.

СВ РАДИОСВЯЗЬ

Развитию СВ радиосвязи мир обязан США. В октябре 1958 г в этой стране был разрешен к использованию в гражданской связи диапазон 27 МГц, затем было открыто два новых СВ диапазона — 220 и 960 МГц. В Европе вслед за США разрешена работа на диапазоне 27 МГц и принята классификация СВ каналов, существовавшая к тому времени в США.

В бывшем СССР диапазон 27 МГц открыт для гражданской связи в 1988 г. Разрешено было использовать только ограниченное число каналов и принята советская (позже ставшая российской) сетка частот (табл. П. 1.3), отличающаяся от западной.

Таблица П.1.3

РОССИЙСКАЯ СЕТКА ЧАСТОТ СВ ДИАПАЗОНА

Канал	С	Д	Канал	С	Д
1	28,960	27,410	*	27,190	27,640
2	26,970	27,420	20	27,200	27,650
3	26,980	27,430	21	27,210	27,660
*	28,990	27,440	22	27,220	27,670
4	27,000	27,450	24	27,230	27,680
5	27,010	27,460	25	27,240	27,690

Таблица П.1.3
(Окончание)

Канал	С	Р	Канал	С	Р
6	27,020	27,470	23	27,250	27,700
7	27,030	27,480	26	27,260	27,710
*	27,040	27,490	27	27,270	27,720
8	27,050	27,500	28	27,280	27,730
9	27,060	27,510	29	27,290	27,740
10	27,070	27,520	30	27,300	27,750
11	27,080	27,530	31	27,310	27,760
*	17,090	27,540	32	27,320	27,770
12	27,100	27,550	33	27,330	27,780
13	27,110	27,560	34	27,340	27,790
14	27,120	27,570	35	27,350	27,800
15	27,130	27,580	36	27,350	27,810
*	27,140	27,590	37	27,370	27,820
16	27,150	27,600	38	27,380	27,830
17	27,160	27,610	39	27,390	27,840
18	27,170	27,620	40	27,400	27,850
19	27,180	27,630			

Таблица П.1.4

СВ ЧАСТОТЫ МЕЖДУНАРОДНОГО СТАНДАРТА

Канал	А	В	С	Д	Е
1	26,065	28,515	28,965	27,415	27,865
2	26,075	26,525	28,975	27,425	27,875
3	28,085	28,535	26,985	27,435	27,865
4	26,105	26,555	27,005	27,455	27,905
5	28,115	26,565	27,015	27,465	27,915
6	28,125	28,575	27,025	27,475	27,925
7	28,135	26,585	27,035	27,485	27,935
8	26,155	28,605	27,065	27,505	27,955
9	26,165	26,615	27,085	27,515	27,985
10	26,175	26,625	27,075	27,525	27,975
11	2,185	26,635	27,085	27,535	27,985
12	26,205	26,655	27,105	27,555	28,005
13	26,215	26,865	27,115	27,565	26,015
14	28,225	28,675	27,125	27,575	28,025

Таблица П.1.4
(Окончание)

Канал	A	B	C	D	E
15	26,235	26,685	27,135	27,585	28,035
16	26,255	28,705	27,155	27,605	28,065
17	28,265	28,715	27,185	27,615	28,065
18	26,275	26,725	27,175	27,626	28,075
19	26,285	28,735	27,186	27,635	28,085
20	26,305	28,758	27,205	27,665	28,105
21	28,315	28,765	27,215	27,665	28,115
22	28,325	28,775	27,225	27,675	28,125
23	26,355	28,805	27,255	27,705	28,155
24	26,335	28,785	27,235	27,686	28,135
25	26,345	28,795	27,245	27,695	28,145
26	26,365	26,815	27,265	27,716	28,165
27	26,375	28,825	27,275	27,725	28,175
28	26,385	28,835	27,285	27,735	28,185
29	26,395	26,845	27,295	27,745	28,195
30	28,405	26,855	27,305	27,765	28,205
31	28,415	28,865	2,315	27,765	28,215
32	28,425	28,875	27,325	27,775	28,225
33	28,435	28,865	27,335	27,785	28,235
34	28,445	28,695	27,345	27,795	28,245
35	28,465	26,905	27,355	27,805	28,255
36	26,455	26,915	27,365	27,815	28,265
37	26,475	26,925	27,375	27,825	28,275
38	26,485	26,935	27,365	27,835	28,265
39	28,495	28,945	27,395	27,845	28,295
40	28,605	28,965	27,405	27,855	28,305

Но в 1994 г в России наконец-то было разрешено работать в международной сетке частот C и D наравне с отечественной сеткой частот C и D и использовать однополосную модуляцию. Это решение, по существу, закрепило давно укоренившуюся практику использования зарубежной сетки, поскольку большинство любителей СВ-связи в России использовали западную аппаратуру.

ЧАСТОТЫ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАНАЛОВ

Во всем мире установлены стандартные частоты телевизионных каналов. Это дает возможность унифицировать выпуск телевизионных приемников и блоков к ним. В табл. П.1.5. приведены частоты каналов метровых волн, в табл. П.1.6 — частоты телевизионных каналов дециметровых волн. Обозначения, принятые в таблице, соответствуют: F_H — частота изображения, F_S — частота звука, F_C — средняя частота телевизионного сигнала.

Таблица П.1.5

ЧАСТОТЫ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАНАЛОВ МЕТРОВЫХ ВОЛН

Номер канала		F_H , МГц	F_3 , МГц	F_C , МГц	λ_H , мм	λ_3 , мм	λ_C , мм
I	1	49,75	58,26	52,900	6030	5333	5671
	2	59,25	65,75	62,415	5063	4563	4807
II	3	77,25	63,75	80,434	3863	3582	3730
	4	85,25	91,75	86,440	3519	3270	3392
	5	93,26	99,75	95,445	3217	3008	3111
III	6	175,25	181,75	178,470	17112	1651	1861
	7	183,25	189,75	186,472	1637	1581	1609
	8	191,25	197,75	194,473	1589	1517	1543
	9	199,25	205,75	202,474	1508	1458	1482
	10	207,26	213,75	210,475	1448	1404	1425
	11	215,25	221,75	216,476	1394	1353	1373
	12	223,25	229,75	226,477	1344	1306	1325

Таблица П.1.6

ЧАСТОТЫ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАНАЛОВ ДЕЦИМЕТРОВЫХ ВОЛН

Номер канала		F_H , МГц	F_3 , МГц	F_C , МГц	λ_H , мм	λ_3 , мм	λ_C , мм
IV	21	471,25	477,75	474,489	637	628	632
	22	479,25	485,75	482,489	628	618	622
	23	487,26	493,75	490,489	616	608	612
	24	495,26	501,75	498,489	606	598	602
	26	503,26	509,75	506,490	596	589	592
	28	511,25	517,75	514,490	587	579	583
	27	519,25	525,75	522,490	578	571	574
	28	527,25	533,75	530,490	569	562	566
	29	535,25	541,75	538,490	560	554	557
	30	543,25	549,75	546,490	552	546	549
	31	551,25	557,75	554,490	544	538	541
	32	559,25	565,75	562,491	538	530	533
	33	567,26	573,75	570,491	529	523	526
	34	575,25	581,75	578,491	522	516	519
	35	583,25	589,75	586,491	514	509	512
	36	591,25	597,75	594,491	507	502	505
	37	599,25	605,75	602,491	501	495	498
	38	607,25	613,75	610,491	494	489	491
	39	615,25	621,75	618,491	488	482	485

Таблица П.1.6
(Окончание)

Номер канала		F_H , МГц	F_3 , МГц	F_C , МГц	λ_H , мм	λ_3 , мм	λ_C , мм
V	40	623,25	629,75	626,492	481	476	479
	41	631,25	637,75	634,492	475	470	473
	42	639,25	645,75	642,492	489	465	467
	43	647,25	653,75	650,492	464	459	481
	44	655,25	861,75	658,492	458	453	456
	45	663,25	669,75	666,492	452	445	450
	48	671,25	677,75	674,492	447	443	445
	47	679,25	685,75	682,492	442	438	440
	48	687,25	893,75	690,492	437	432	435
	49	895,25	701,75	698,492	432	428	430
	50	703,25	709,75	706,493	427	423	425
	51	711,75	717,75	714,493	422	418	420
	52	719,25	725,75	722,493	417	413	415
	53	727,25	733,75	730,493	4112	409	411
	54	735,25	741,75	738,493	408	404	406
	55	743,25	749,75	745,493	404	400	402
	55	751,75	757,75	754,493	399	396	398
	57	759,25	765,75	762,493	395	392	393
	58	767,25	773,75	770,493	391	388	389
	59	775,25	781,75	778,493	387	384	385
	60	783,25	789,75	786,493	363	350	381
	61	791,25	797,75	794,493	379,1	376,1	377,6
	62	799,25	805,75	802,493	375,4	372,3	373,8
	63	807,25	813,75	810,493	371,6	368,7	370,1
	64	815,25	821,75	818,494	368,0	365,1	386,6
	65	623,25	829,75	828,494	354,4	381,6	363,0
	66	831,26	837,75	834,494	360,9	358,1	359,5
	67	839,25	845,75	842,494	357,5	354,7	356,1
	68	847,25	853,75	850,494	354,1	351,4	352,8
	69	855,25	861,75	858,4494	350,8	348,1	349,4
	70	863,25	869,75	866,494	347,5	344,9	346,2
	71	871,25	877,75	874,494	344,3	341,8	343,1
	72	879,25	885,75	882,494	341,2	338,7	339,9
	73	867,25	893,75	890,494	338,1	335,7	336,9
	74	895,25	901,75	898,494	335,1	332,7	333,9
	75	903,25	909,75	906,494	332,1	329,8	330,9
	76	911,25	917,75	914,494	329,2	326,9	328,1
	77	919,25	925,75	922,494	326,4	324,1	325,2
	78	927,25	933,75	930,494	323,6	321,3	322,4
	79	935,25	941,75	938,494	320,6	318,6	319,7
	80	943,25	949,75	946,494	318,0	315,9	317,0

Как видно из табл. П. 1.5, в частотном распределении метровых волн между каналами 5 и 6 есть пропуск широкой полосы частот занимающей спектр почти 80 МГц. Это сделано чтобы избежать помех от служебных и радиолобительских УКВ станций, которые работают в этом участке диапазона. Вторая гармоника вещательного УКВ диапазона 70 МГц попадает в этот диапазон частот. В некоторых городах в этом сегменте работает кабельное телевидение, которому предусмотрено выделение специальных кабельных каналов при отсутствии свободных частотных каналов в телевизионном метровом диапазоне. Конечно, работа кабельного телевидения в этом участке будет подвержена помехам со стороны мощных служебных и радиолобительских УКВ радиостанций.

Между метровыми и дециметровыми телевизионными диапазонами существует большой участок спектра радиочастот, который используют служебные УКВ радиостанции, сотовая связь и радиолобители. Дециметровый участок телевизионного диапазона кончается 80-м каналом, после которого работают служебные, радиолобительские, сотовые и некоторые спутниковые системы радиосвязи.

В зарубежной радиоаппаратуре, использующей частоты телевизионных каналов (в видеоманитофонах, телевизионных играх, телевизорах) часто указывают условные номера диапазонов каналов по принятому западному стандарту.

К диапазону I относятся метровые каналы 1 и 2, к диапазону II — метровые каналы 3–5, к диапазону III — метровые каналы 6–12, к диапазону IV — дециметровые каналы 21–39, к диапазону V — телевизионные каналы 40–80.

Приложение 2

ШКАЛЫ RST И РСМ. КОДЫ В РАДИОСВЯЗИ. ФОНЕТИЧЕСКИЕ АЛФАВИТЫ

Среди радиолобителей принято оценивать уровень и качество сигналов принимаемых станций по шкалам RST и РСМ, которые приведены в табл. П.2.1. S-метры промышленных трансиверов должны калиброваться согласно табл. П.2.2. И хотя это условие не всегда выполняется, в основном калибровка S-метров зарубежных трансиверов соответствует этой таблице. Поэтому от зарубежных коротковолнников часто можно услышать оценку силы сигнала в 1–2 балла, при этом QSO проходит уверенно!

В этом случае пользуются шкалой S-метра трансивера, а хороший аппарат вполне может уверенно принять сигналы 0,2...0,4 мкВ в верхних КВ диапазонах. Российские коротковолнники, работающие в основном на самодельной аппаратуре, S-метр которой в лучшем случае калиброван на «глазок», дают оценки слышимости в зависимости от чувствительности трансивера и фантазии радиолобителя. В основном преобладают оценки S9–S8, а оценка S3–S2 говорит о том, что сигналы принимаемой радиостанции практически не слышны, т. е. крайние оценки слышимости примерно соответствуют табл. П.2.1.

Служебные станции пользуются пятибалльной шкалой слышимости сигналов. Пять баллов — отлично, четыре — хорошо, три — удовлетворительно, два — неудовлетворительно, один — прием невозможен. Даже если две служебные станции слышат друг друга с уровнем S9 + 40 дБ по радиолобительской шкале, их оценка слышимости друг другу будет скорее всего «тройка», очень редко — «четыре». Это связано с излишней перестраховкой. На частоте может появиться помеха, нечаянно можно сдвинуть ручку настройки и не принять радиogramму от станции, которая получила оценку слышимости «пять».

ШКАЛЫ RCT И PCM

Шкала R (Шкала разбираемости от англ. Readability → читаемость, разбираемость)

- 1 — Неразборчиво, прием невозможен.
- 2 — Разборчивы отдельные слова, прием практически невозможен.
- 3 — Разборчиво с большим трудом.
- 4 — Удовлетворительная разборчивость.
- 5 — Совершенно разборчиво.

Шкала S (Шкала слышимости от англ. Strength → сила)

- 1 — Очень слабые сигналы, прием невозможен.
- 2 — Очень слабые сигналы, прием практически невозможен.
- 3 — Очень слабые сигналы, прием с большим напряжением.
- 4 — Слабые сигналы, прием с напряжением.
- 5 — Удовлетворительные сигналы, прием почти без напряжения.
- 6 — Хорошие сигналы, прием без напряжения.
- 7 — Умеренно громкие сигналы.
- 8 — Громкие сигналы.
- 9 — Очень громкие сигналы.

Шкала T (Шкала тона от англ. Tone → тон)

- 1 — Чрезвычайно грубый шипящий тон от переменного тока.
- 2 — Более устойчивый, но очень грубый тон от переменного тока, никаких следов музыкальности.
- 3 — Хриплый, слегка музыкальный тон от выпрямленного, но несглаженного тока.
- 4 — Средней музыкальности, довольно грубый тон от небольшого сглаживания.
- 5 — Музыкально-модулированный журчащий тон от недостаточного сглаживания.
- 6 — Устойчивый музыкальный тон с небольшой пульсацией.
- 7 — Хороший тон от выпрямленного тока с едва заметной пульсацией.
- 8 — Чистый музыкальный тон от выпрямленного тока лишь следы пульсации.
- 9 — Чистейший музыкальный тон от постоянного тока.

Шкала M (Шкала качества модуляции от англ. Modulation → модуляция)

- 1 — Очень искаженная передача, слов разобрать нельзя.
- 2 — Искаженная передача, с трудом разбираются слова.
- 3 — Передача разборчивая, но искажения очень заметны.
- 4 — Довольно чистая передача, искажения едва заметны.
- 5 — Передача прекрасная, без всяких искажений.

ТАБЛИЦА КАЛИБРОВКИ S-МЕТРА ТРАНСИВЕРА

Единицы шкалы	Уровень сигнала, дБм*	Уровень сигнала, мкВ
9 + 40	-33	5000
9 + 30	-43	1600
9 + 20	-53	600
9 + 10	-63	160
9	-73	50
8	-79	25
7	-85	12,5
6	-91	6,3
5	-97	3,1
4	-103	1,6
3	-109	0,8
2	-115	0,4
1	-121	0,2

* децибелы относительно уровня 1 мВт

Шкала тона при широком использовании промышленных трансиверов начинает устаревать. Практически все радиостанции имеют тон качеством Т-9, и только некоторые станции, где используется самодельное оборудование, иногда работают качеством Т-8. И давно уже устарела шкала качества модуляции — М. В конце 70-х годов при работе АМ на 10-метровом диапазоне некоторые советские станции еще давали оценку качества модуляции по шкале М, но уже с середины 80-х годов она постепенно трансформировалась в шкалу R, и теперь качество модуляции отражает эта шкала.

При помощи табл. П.2.2 была составлена табл. П.2.3. Она показывает, как изменяются показания правильно калиброванной шкалы S-метра при изменении мощности от 1 кВт до 61 мВт. Из этой таблицы видно, что даже используя мощность до 10 Вт, т. е. QRP, вполне можно работать в эфире при среднем прохождении и отсутствии помех со стороны других станций. Именно некорректное поведение некоторых операторов любительских и служебных станций, использование малочувствительных приемников и суррогатных антенн, ослабляющих сигналы, заставляет радиолюбителей наращивать мощность своих радиостанций.

Таблица П.2.3

ПОКАЗАНИЯ S-МЕТРА ПРИ ИЗЛУЧАЕМОЙ АНТЕННОЙ МОЩНОСТИ

S-9	S-8	S-7	S-6	S-5	S-4	S-3	S-2	S-1
1000 Вт	250 Вт	62,5 Вт	15,6 Вт	3,9 Вт	976 мВт	244 мВт	244 мВт	61 мВт

КОДЫ В РАДИОСВЯЗИ

В радиосвязи (как в любительской, так и профессиональной) издавна сложилась своя система кодов, которую одинаково часто используют как служебные, так и любительские станции и операторы СВ радиостанций, среди которых немало коротковолновиков. Следует помнить, что в «Инструкции о порядке регистрации и эксплуатации любительских радиостанций» в п. 6.6 говорится: «Радиосвязь... ведется открытым текстом с применением вырвжений Q-кода (приложение 13) и радиолюбительского кода (приложение 14)».

В п. 6.7.2 говорится: «Запрещается... применение шифров, условных кодов и произвольных сокращений, за исключением сокращений и кодов, упомянутых в п. 6.6».

В табл. П.2.4 приведен международный Q-код. Этот код окончательно сформировался к концу 20-х годов XX века и до сих пор используется в радиосвязи. Существует еще Z-код, но он не получил широкого распространения в Европе и Америке. Поставлено все страны мира перешли к использованию Q-кода, который сейчас признан международным телеграфным кодом.

Таблица П.2.4

ВЫРАЖЕНИЯ Q-КОДА

QRA	Как называется Ваша станция?	Моя станция называется...
QRB	На каком приблизительно расстоянии Вы находитесь от моей станции?	Приблизительное расстояние между нашими станциями равно... километрам
QRG	Сообщите мою точную частоту	Ваша точная частота...
QRH	Меняется ли моя частота?	Ваша частота меняется
QRI	Какой тон моей передачи?	Тон Вашей передачи...
QRK	Какова разборчивость моих сигналов?	Разборчивость Ваших сигналов...
QRL	Заняты ли Вы?	Я занят, прошу не мешать
QRM	Испытываете ли Вы помехи от других станций?	Я испытываю помехи от других станций?
QRN	Мешают ли Вам атмосферные помехи?	Мне мешают атмосферные помехи
QRO	Должен ли я увеличить мощность передатчика?	Увеличьте мощность передатчика
QRP	Должен ли я уменьшить мощность передатчика?	Уменьшите мощность передатчика
QRQ	Должен ли я передавать быстрее?	Передавайте быстрее
QRS	Должен ли я передавать медленнее?	Передавайте медленнее
QRT	Должен ли я прекратить передачу?	Прекратите передачу
QRU	Есть ли у Вас что-нибудь для меня?	У меня ничего для Вас нет
QRV	Готовы ли Вы?	Я готов
QRW	Должен ли я сообщить... что Вы вызываете его на... кГц (или МГц)	Пожалуйста, сообщите... что я вызываю его на... кГц (или МГц)
QRX	Когда Вы вызовете меня снова?	Подождите, я вызову Вас снова
QRZ	Кто меня вызывает?	Вас вызывает...
QSB	Замирают ли мои сигналы?	Ваши сигналы замирают
QSK	Можете ли Вы слышать меня в паузах между своими сигналами?	Я могу Вас слышать в паузах между ~~своими сигналами~~
QSL	Можете ли Вы подтвердить прием?	Ваш прием подтверждаю
QSO	Можете ли Вы связаться с... непосредственно?	Я могу связаться с... непосредственно
QSP	Можете ли Вы передать...?	Я могу передать...
QSY	Должен ли я перейти на другую частоту?	Перейдите на другую частоту
QSX	Слушаете ли Вы позывной сигнал на частоте... кГц (МГц)	Я слушаю позывной сигнал на частоте... кГц (МГц)
QTC	Имеется ли у Вас сообщение?	У меня имеется для Вас сообщение
QTH	Каково Ваше местонахождение?	Я нахожусь...
QTR	Какое точное время?	Точное время... часов

Радиолобительский код приведен в табл. П.2.5. Этот код оформился к началу Второй мировой войны. Некоторые выражения, используемые в нем, ушли, некоторые постоянно добавляются в зависимости от уровня развития радиолобительской техники.

Таблиц в П.2.5

РАДИОЛОБИТЕЛЬСКИЙ КОД

Сокращение	Слово, от которого образовано сокращение	Значение
ABT	About	Около, приблизительно
ADR	Addres	Адрес
AFTER	After	После
AGN	Again	Опять, снова
ALL	All	Все
ALSO	Also	Так же
AM	Amplitude modulation	Амплитуда модуляция
ANT	Antenna	Антенна
AT	At	К, в, при
BAD	Bad	Плохо, плохой
BAND	Band	Диапазон
BCNU	—	Буду рад встретить снова
BEAM	Beam	Направленная (антенна)
BEST	Beat	Наилучший
BOX	Box	Ящик (почтовый)
BUT	But	Но
CALL	Call	Вызов (позывной)
CFM	Confirm	Подтверждаю, подтверждение
CHEERIO	Cheerio	Желаю успеха
CLG	Caling	Вызывает, вызываю
CONDX	Conditions	Условия (слышимость)
CONGRATS	Congratulations	Поздравления
COP	Copy	Записывать (принимать)
CQ	—	Всем, всем (общий вызов)
CU	See you	Встретимся (в эфире)
CUAGN	See you again	Встретимся снова
CUL	See you later	Встретимся позже
CW	Continuous wave	Незатухающие колебания (телеграф)
DE	—	От, из
DIRECT	Direct	Напрямик, прямо
DR	Dear	Дорогой
DWN	Down	Вниз, ниже
DX	—	Дальняя связь, дальнейшее расстояние
ES	—	И
EX	Ex	Бывший (о позывном)
FB	Fine business	Превосходно, прекрасно
FER, FOR, FR	For	За, для, при
FM	From	Из, от
GA	Go ahead	Давайте, начинайте
GA	Good afternoon	Добрый день (во вторую половину дня)
GB	Good bye	Прощайте, до свидания
GD	Good day	Добрый день
GE	Good evening	Добрый вечер
GLD	Glad	Рад, доволен
GM	Good morning	Доброе утро
GN	Good night	Доброй ночи

Таблица П.2.5
(Продолжение)

Сокращение	Слово, от которого образовано сокращение	Значение
GND	Ground	Заземление
GOT	Got	Получил
GOD	Good	Хороший, хорошо
GUHOR	—	Ничего не слышно
HAM	—	Любитель-коротковолновик, имеющий передатчик
HF	High frequency	Высокая частота
HI	—	Выражение смеха
HOPE, HPE	Hope	Надеюсь
HR	Here	Здесь
HRD	Heard	Слышал
HW	—	Как дела, Как бы меня слышите?
INFO	Information	Информация
K	—	Отвечайте, передавайте
KW	Kilowatt	кВт
LAT	Latitude	Широта
LF	Low frequency	Низкая частота
LID	—	Плохой оператор
LONG	Longitude	Долгота
LOG	Logbook	Список радиостанций
LSB	Lower side band	Нижняя боковая полоса
LTR	Latter	Письмо
MIKE	Microphone	Микрофон
MIN	Minute	Минута
MNI	Many	Много, многие
MOM	Moment	Момент
MSG	Messaga	Сообщение
MTR	Meter	Метр
NEAR, NR	Near	Близ
NBPM	Narrow band frequency modulation	Узкополосная частотная модуляция
NIL	—	Ничего
NIN	Number	Номер
NW	Now	Теперь, приступаю к передаче
OK	—	Принял правильно, понял
OM	Old man	Приятель (дословно — старый человек)
ONLY	Only	Только
OP, OPR	Operator	Оператор, радист
OUTPT	Output	Отдаваемая мощность
PA	Power amplifier	Мощный усилитель
PM	Post merediem	Пополудни
PSE	Please	Пожалуйста
PSED	Pleased	Доволен, рад
PWR	Power	Мощность
R	Right	Верно, правильно принял
RCV	Receive	Получать, принимать
RCVR	Receiver	Приемник
REPT, RPRT	Report	Сообщение
RND	—	Передатчик
RPT	Repeat	Повторение, повторите, повторяю

Таблица П.2.5
(Окончание)

Сокращение	Слово, от которого образовано сокращение	Значение
RTTY	Radioteletype	Радиотелевип
SIGS	Signals	Сигналы
SKED	Schedule	Расписание работы
SM, SUM	Some	Некоторые, несколько
SOON, SN	Soon	Скоро, вскоре
SORI, SRI	Sorry	К сожаленику, жалъ
SSB	Single side band	Однополосная модуляция
STN	Station	Станция
SURE	Sure	Уверенность, будьте уверены
SWL	Short wave listener	Наблюдатель
SWR	Standing wave ratio	Коэффициент стоячей волны (КСВ)
TEST	Test	Опыт, опытная работа, соревнования
U	You	Вы
UFB	Ultra fb	Превосходно
UNLIS	Unlicensed	Нелегальная станция
UP	Up	Вверх, выше
UR	Your	Ваш
URS	Yours	Вашим
USB	Upper side band	Верхняя боковая полоса
VIA	Via	Через, посредстарм
VFO	Variable frequency oscillator	Генератор плавного диапазона
VHF	Very high frequency	Сверхвысокие частоты
VY	Very	Очень
WTTS	Watts	Вт
WEAK	Weak	Слабый
WID	With	С
WKD	Worked	Работал
WLL	Will	Буду, будет, будете
WRK	Work	Работа, работать
WRKD	Worked	Работал
WW	World-wide	Весь мир
WX	Weather	Погода
XTAL	Crystal	Кварцевый кристалл
XYL	Ex young lady	Жена
YES	Yes	Да
YL	Young lady	Девушка
73	—	Наилучшие пожелания
88	—	Любовь и поцелуй (передается в шутку)
БЛГ	—	Благодарю
ДСВ	—	До свидания
ЗДР	—	Здравстауйте
НЛД	—	Выпуски... На любительских диапазонах
СПС	—	Спасибо
ЖС	—	Ждите
АА	—	Конец передачи
ЕК	—	Работа полудуплексом
ЕТ	—	Знак раздела
KN	—	Слушаю только своего корреспондента
SK	—	Полное окончание обмена

Фонетические обозначения букв также определены «Инструкцией» (приложение 14). В табл. П.2.6 приведен фонетический алфавит на русском языке, в табл. П.2.7 — фонетический алфавит для международных связей. Необходимо строго придерживаться этих таблицы и избегать своевольных сокращений.

Таблица П.2.6

ФОНЕТИЧЕСКИЙ АЛФАВИТ ДЛЯ СВЯЗИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

А — Анна	Р — Роман
Б — Борис	С — Семен
В — Василий	Т — Татьяна
Г — Григорий	У — Ульяна
Д — Дмитрий	Ф — Федор
Е — Елена	Х — Харитон
Ж — Женя	Ц — Цапля
З — Зинаида	Ч — человек
И — Иван	Ш — Шура
К — Константин	Ъ — твердый знак
Л — Леонид	Ы — еры
М — Михвиль	Ь — мягкий знак
Н — Николай	Э — эхо
О — Ольга	Ю — Юрий
П — Павел	Я — Яков

Таблица П.2.7

ФОНЕТИЧЕСКИЙ АЛФАВИТ ДЛЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ СВЯЗЕЙ

A — alfa (аль-фа)	N — november (но-вем-бер)
B — bravo (бра-во)	O — Oscar (ос-кар)
C — Charlie (чер-ли)	P — papa (па-па)
D — delta (дель-та)	Q — Quebec (кве-бек)
E — echo (эк-о)	R — Romeo (ро-ме-о)
F — foxtrot (фокс-трот)	S — sierra (сьерра)
G — golf (гольф)	T — tango (тан-го)
H — hotel (хотель)	U — uniform (ю-ни-форм)
I — India (ин-ди-а)	V — Victor (вик-тор)
J — Juliett (джуль-ет)	W — whiskey (вис-ки)
K — kilo (ки-ло)	X — X-ray (икс-рай)
L — Lima (ли-ма)	Y — yankee (ян-ки)
M — Mike (майк)	Z — Zulu (зу-лу)

Некоторые цифровые коды использовались еще в начале века. Постепенно, цифровой код был вытеснен Q-кодом и забыт. Но в радиолюбительскую практику вошли некоторые цифровые коды, которые по-видимому отличаются от тех, что использовались до 20-х годов. Широко используются коды «73» и «88». Код «73» обозначает «наилучшие пожелания», код «88» — «любовь и поцелуй» (передается в шутку). В конце 30-х годов американской лигой женщин-радиолюбителей был введен код «33»,

который используется для выражения наилучших пожеланий между женщинами-операторами любительских станций. В 1991 г по предложению английского QRP клуба — G-QRP-C — введен код «72», который обозначает «успешной QRP работы» и сейчас широко используется операторами QRP станций в своей работе.

Приложение 3

ПАРАМЕТРЫ МОЩНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП, МОЩНЫХ БИПОЛЯРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ, МОДУЛЕЙ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

Ниже приведены параметры основных, используемых радиолюбителями активных приборов — ламп, транзисторов и модулей усилителей мощности.

Конечно, невозможно охватить всю номенклатуру радиоэлементов, но наиболее часто используемые для конструирования РА, здесь приводятся.

МОЩНЫЕ ГЕНЕРАТОРНЫЕ ЛАМПЫ

В прежние годы мощные генераторные лампы относились к продукции специального назначения, их было невозможно официально приобрести, данные на них входили под грифом «для служебного пользования». В настоящее время эти лампы можно достаточно свободно приобрести.

Электрические параметры наиболее часто используемых радиолюбителями генераторных ламп представлены в табл. П.3.1; цолевка этих и других ламп — на рис. П.3.1, там же приведены дополнительные технические данные электронных ламп.

Таблица П.3.1

ПАРАМЕТРЫ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП

Тип лампы	U_n , В	I_n , А	U_a , В	U_g , В	P , Вт	F , МГц	Категория лампы
ГУ-71	18–21	3	1500	400	125	20	Пентод
ГУ-13	9,6–10,5	5	2000	400	100	30	Тетрод
ГУ-5Б	12,6	40	5000	—	3500	110	Триод
ГУ-19	5,7–6,9	2	250	250	40	500	Тетрод
ГУ-29	11,3–13,9	1,1	750	225	40	500	Тетрод
ГУ-32	11,3–13,9	1,6	500	250	15	500	Тетрод
ГУ-33Б	5,7–6,9	5	1500	400	150	500	Тетрод
ГУ-34Б	12–13,2	4	2500	500	650	250	Тетрод
ГУ-35Б	6,2–6,7	34	5000	900	3500	250	Тетрод
ГУ-36Б	8,3	210	7000	1100	15000	250	Тетрод
ГУ-37Б	3,3–3,6	110	3000	—	3500	330	Триод
ГУ-39Б	6–6,6	95	10000	2000	6000	110	Тетрод
Г507	6–6,8	0,9	600	300	40	60	Тетрод
ГМ70	20	3	1500	—	125	—	Триод
ГК71	20	3	1500	400	250	20	Пентод
ГУ47	6,3	60	1000	900	6000	70	Тетрод

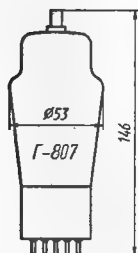
Таблица П.3.1
(Окончание)

Тип	U_m , В	I_{a0} , А	U_{a0} , В	U_{a1} , В	P , Вт	F , МГц	Тип лампы
ГУ-40Б	6-6,6	33	5000	830	2000	250	Тетрод
ГУ-43Б	11,3-13,9	6,6	3300	500	1000	100	Тетрод
ГУ-46	7,9-8,7	14,75	3000	650	500	500	Пентод
ГУ-47Б	6,0-6,6	60	6000	1200	6000	70	Тетрод
ГУ-50	10,8-14,5	0,7	1000	250	40	120	Пентод
ГУ-64	5,7-7	3,15	2000	400	100	175	Тетрод
ГУ-70Б	5,7-6,3	3,1	3500	400	350	250	Тетрод
ГУ-71Б	12-13,2	6,1	3500	400	1500	75	Пентод
ГУ-74Б	11,9-13,3	3,6	2200	300	60	50	Тетрод
ГУ-77Б	25,8-26,4	3,1	2200	350	1500	250	Тетрод
ГУ-60	11,6-13,5	10,5	3000	600	500	50	Пентод
ГУ-81	11,8-13,5	10,5	3000	500	750	50	Пентод
ГУ-84Б	25,6-28,4	3,85	2200	600	2500	250	Тетрод
ГС-1Б	11,9-13,3	3,2	3000	—	1000	1000	Триод
ГС-3Б	23,4-27,3	3,4	2700	700	3000	1000	Тетрод
ГС-7Б	11,7-13	2,95	3000	—	2000	1000	Триод
ГС-8Б	11,7-13	1,1	2500	—	300	1000	Триод
ГС-17Б	3,1-3,5	160	5500	1000	10000	1000	Тетрод
ГС-18Б	4	210	6500	900	15000	1000	Тетрод

Рис. П.3.1. Цоколевка ламп

Г-807

Генераторный лучевой тетрод



Предназначен для усиления и генерирования колебаний высокой частоты.

Применяется в передающих устройствах, в также в каскадах строчной развертки телевизионных приемников.

Можно применять в оконечных каскадах мощности низкой частоты.

Катод оксидный косвенного накала.

Работает в любом положении.

Выпускается в стеклянном оформлении.

Срок службы не менее 500 ч.

Цоколь специальный. Число штырьков 5.

ГМ-70

Мощный усилительный триод

Предназначен для усиления мощности низкой частоты.

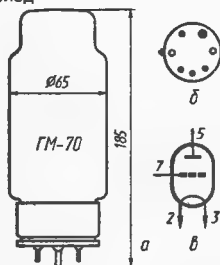
Катод вольфрамовый торированный карбидированный прямого накала.

Работает в вертикальном положении.

Выпускается в стеклянном оформлении.

Цоколь специальный, 4-штырьковый.

Срок службы не менее 1000 ч.

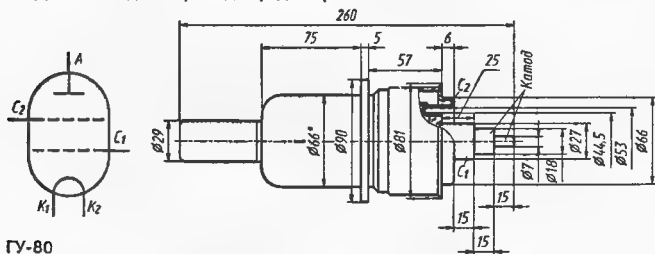


ГУ-47А, ГУ-47Б

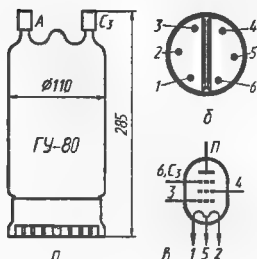
Мощные генераторные тетроды для работы в качестве генераторов и усилителей высокочастотных колебаний в режиме однополосного усиления.

Оформление — металлоглазное. Охлаждение — принудительное; ГУ-47А: анода — водяное не менее 2 л/мин; ножки — воздушное не менее 30 м³/ч; ГУ-47Б: анода — воздушное не менее 400 м³/ч; ножки — воздушное не менее 30 м³/ч. Масса: ГУ-47А 2 кг; ГУ-47Б 3,2 кг.

Для ГУ-47Б диаметр анода с радиатором 122 мм.



ГУ-80



Предназначен для усиления мощности и генерирования колебаний высокой частоты.

Применяется в передающих устройствах и в мощных каскадах усилителей низкой частоты, а также в ультразвуковых генераторах.

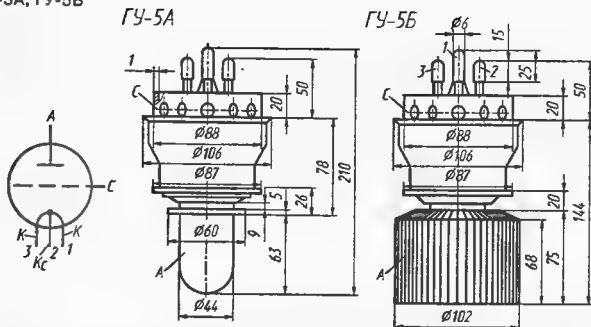
Катод вольфрамовый торированный карбидированный прямого накала.

Рабочее положение вертикальное, цоколем вниз.

Срок службы не менее 1000 ч.

Цоколь специальный. Число штырьков 6.

ГУ-5А, ГУ-5Б

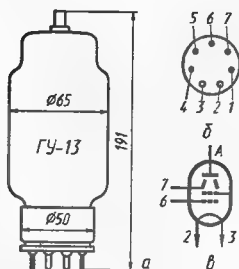


Мощные генераторные триоды для усиления и генерирования высокочастотных колебаний в радиопередающих устройствах и промышленных установках высокочастотного нагрева. Могут работать в схеме с общей сеткой.

Рабочее положение вертикальное, анодом вниз.

ГУ-13

Генераторный лучевой тетрод



Предназначен для усиления мощности и генерирования колебаний высокой частоты.

Применяется в передающих устройствах. Может быть использован в мощных каскадах усилителей низкой частоты.

Катод вольфрамовый торированный карбидированный прямого накала.

Работает в вертикальном положении, цоколем вниз.

Выпускается в стеклянном оформлении.

Срок службы не менее 500 ч.

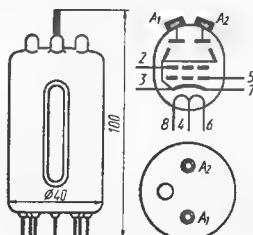
Цоколь специальный. Число штырьков 7.

ГУ-19, ГУ-19-1

Стеклянные генераторные двойные лучевые тетроды. Предназначены для генерирования и модулирования колебаний, усиления мощности и умножения частоты в диапазоне частот до 500 МГц.

Долговечность не менее 1000 ч.

Масса не более 100 г.



Расположение штырьков РШ 6

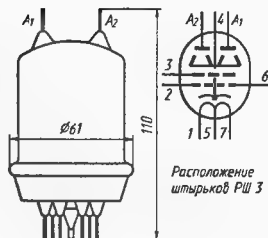
Рис. П.3.1
(Продолжение)

ГУ-29

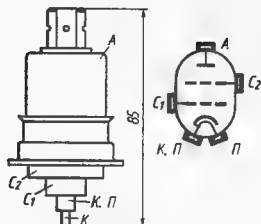
Стекланный генераторный двойной лучевой тетрод. Предназначен для генерирования колебаний и усиления мощности в метровом диапазоне волн.

Долговечность не менее 500 ч.

Масса не более 125 г.



ГУ-33А, ГУ-33Б



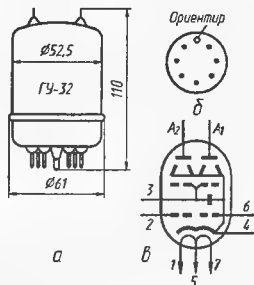
Металлостеклянные генераторные тетроды. Предназначены для генерирования колебаний и усиления мощности в диапазоне частот до 500 МГц.

Долговечность не менее 1000 ч.

Масса ГУ-33А не более 130 г, ГУ-33Б — 220 г.

ГУ-32

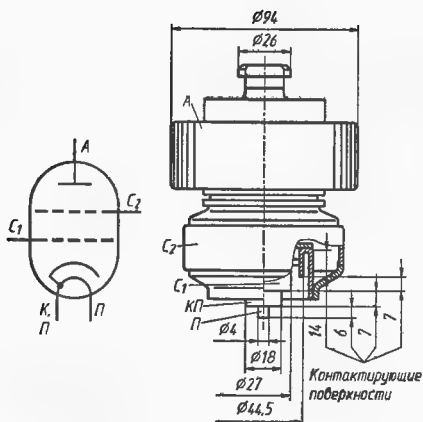
Генераторный двойной лучевой тетрод. Предназначен для генерирования и усиления мощности колебаний высокой частоты. Применяются в передающих устройствах. Катод оксидный косвенного накала. Работает в любом положении. Выпускается в стеклянном оформлении. Срок службы не менее 500 ч. Выводы электрода штырьковые. Число штырьков 7.



ГУ-34Б-1

Генераторный тетрод для усиления мощности в диапазоне частот до 250 МГц. Оформление — металлостеклянное, с коаксиальной системой выводов. Катод — оксидный, косвенного накала. Охлаждение — воздушное, принудительное: анода 80 м³/ч; ножки 20 м³/ч.

Масса 1 кг.

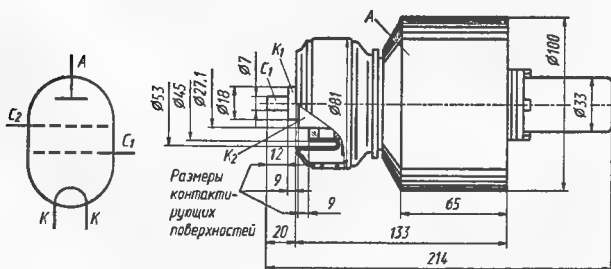


ГУ-35Б-1

Мощный генераторный тетрод для работы в качестве генератора колебаний и широкополосного усиления высокой частоты на частотах до 250 МГц в телевизионных передатчиках.

Оформление — металлоглазное, с наружным анодом и кольцевыми выводами 2-й сетки и катода. Рабочее положение — вертикальное. Охлаждение — принудительное; анода — воздушное не менее 400 м³/ч; ножки — воздушное не менее 100 м³/ч; баллона — воздушное не менее 60 м³/ч.

Масса 2,5 кг.



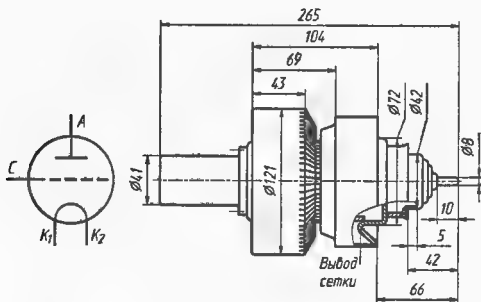
ГУ-37Б

Мощный генераторный триод для генерирования и усиления высокочастотных колебаний в телевизионных радиопередающих устройствах с частотной модуляцией в диапазоне частот до 330 МГц.

Предназначен для работы в схеме с общей сеткой, допускается использование в схемах с общим катодом.

Оформление — металлоглазное. Рабочее положение — вертикальное, стеклянным баллоном вверх. Охлаждение — принудительное: анода — воздушное 500 м³/ч; ножки — воздушное 60 м³/ч; баллона — воздушное 60 м³/ч (не менее).

Масса 3 кг.

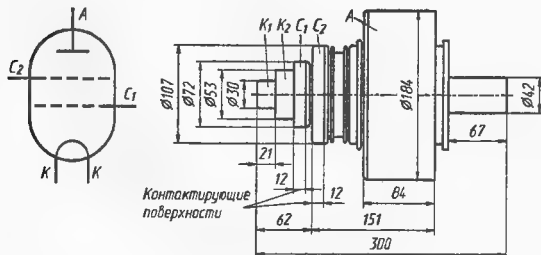


ГУ-36Б-1, ГУ-36Б

Генераторные тетроды для широкополосного усиления высокочастотных колебаний на частотах до 250 МГц в схемах с общей сеткой или общим катодом.

Оформление — металлокерамическое, с кольцевыми выводами электродов. Охлаждение — воздушное, принудительное: анода — не менее 1200 м³/ч (1400); ножки — не менее 200 м³/ч.

Масса: ГУ-36Б-1 — 11 кг; ГУ-36Б — 10 кг.

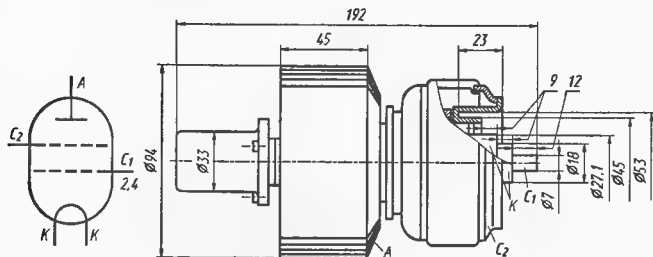


ГУ-40Б, ГУ-40Б-1

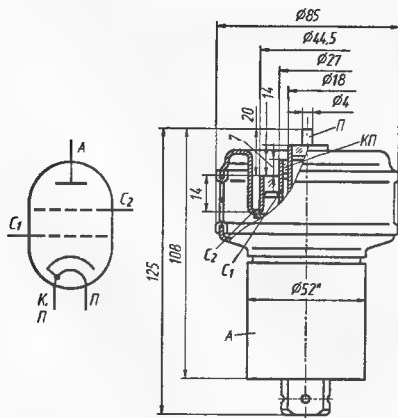
Мощные генераторные тетроды для работы в качестве генераторов и широкополосных усилителей высокочастотных колебаний на частотах до 250 МГц.

Оформление — металлостеклянное. Рабочее положение — вертикальное, стеклянным баллоном вверх. Охлаждение — принудительное: анода — воздушное не менее 130 (250) м³/ч; ножки — воздушное не менее 60 м³/ч.

Масса: ГУ-40Б — 1,6 кг; ГУ-40Б-1 — 2 кг.



ГУ-43А, ГУ-43Б



Генераторные тетроды для генерирования и усиления высокочастотных колебаний на частотах до 100 МГц.

Оформление — металло-стеклянное, с цилиндрическими выводами электродов. Охлаждение: ГУ-43А — жидкостное (кремнийорганическая полисилоксановая жидкость № 3 или фторсодержащая жидкость).

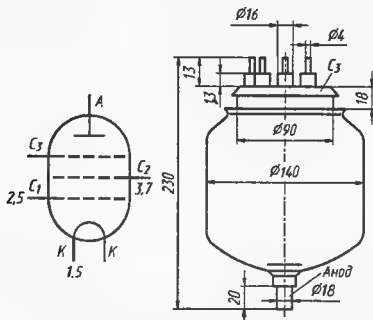
Для ГУ-43Б диаметр анода с радиатором 100 мм.

Рис. П.3.1
(Продолжение)

Генераторный пентод для работы в качестве генератора и усилителя высокочастотных колебаний на частотах до 60 МГц.

Оформление — стеклянное. Рабочее положение — вертикальное.

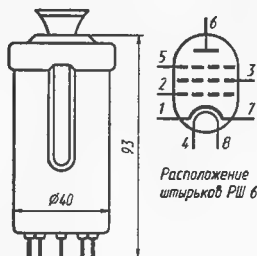
Масса 900 г.



ГП-50

Генераторный лучевой пентод. Предназначен для генерирования колебаний и усиления мощности на частотах до 120 МГц. Долговечность не менее 1750 ч. Оформление — стеклянное.

Масса не более 100 г.

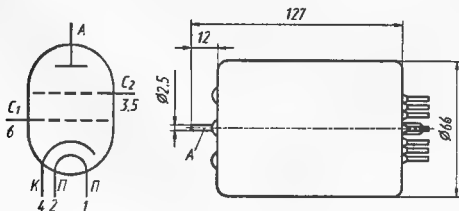


ГП-64

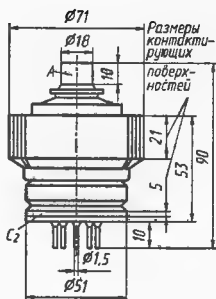
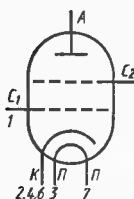
Генераторный тетрод для работы в высокочастотных генераторах на частотах до 175 МГц.

Оформление — стеклянное, бесцокольное (РШЗ).

Масса 325 г.



ГУ-74Б



Генераторный тетрод для работы в непериодических однополосных радиопередатчиках и усилителя однополосного сигнала на частотах до 60 МГц.

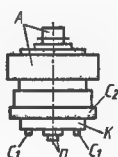
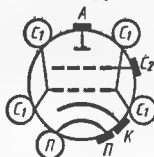
Оформление — металлокерамическое. Охлаждение — воздушное, принудительное 35 м³/ч. Масса 550 г.

ГУ-84Б

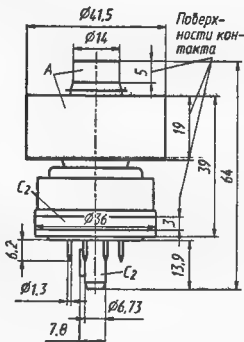
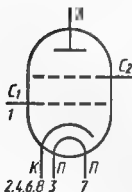
Мощный генераторный тетрод ГУ-84Б в металлокерамическом оформлении с оксидным катодом косвенного накала, наружным анодом, с принудительным воздушным охлаждением предназначен для применения в усилителях мощности с распределенным усилением и усиления однополосного сигнала с выходной мощностью до 1500 Вт на частотах до 75 МГц, а также для усиления мощности на частотах до 250 МГц с выходной мощностью до 1200 Вт в радиотехнической аппаратуре, работающей на ходу, производственно-технического назначения.

Схема соединения электродов лампы с контактирующими выводами

Обозначение вывода	Наименование электрода
К	Катод
П	Подогреватель
C1	Первая сетка
C2	Вторая сетка
А	Анод



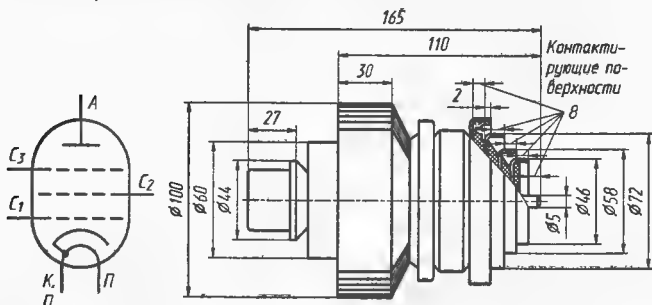
ГУ-70Б



Генераторный тетрод для линейного усиления высокочастотных колебаний на частотах до 250 МГц.

Оформление — металлокерамическое. Охлаждение — воздушное, принудительное 45 м³/ч. Масса 150 г.

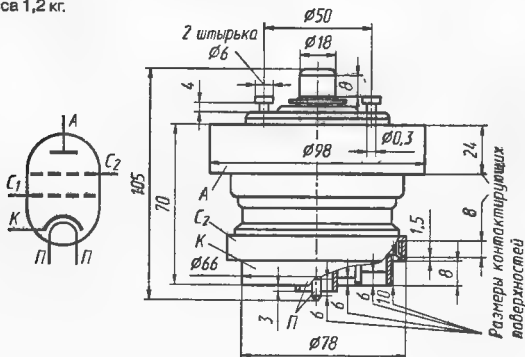
Охлаждение — воздушное, принудительное: анода 60 м³/ч; ножки 10 м³/ч.
Масса 1.7 кг.



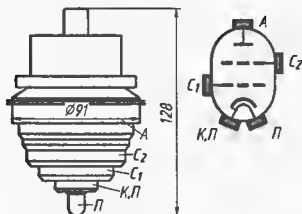
ГУ-77Б

Оформление — металлокерамическое, с кольцевыми выводами катода, сетки второй, анода и штыревыми выводами сетки первой. Охлаждение — воздушное, принудительное 100 м³/ч.

Масса 1.2 кг.



ГС-3А, ГС-3Б



Металлокерамические генераторные лучевые тетроды. Предназначены для усиления мощности высокочастотных колебаний в метровом и дециметровом диапазонах в схемах с общей сеткой.

Долговечность не менее 1000 ч.

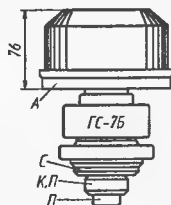
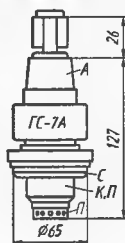
Масса ГС-3А не более 800 г, ГС-3Б — 3,5 кг.

ГС-7А (ГС-7А-1), ГС-7Б (ГС-7Б-1)

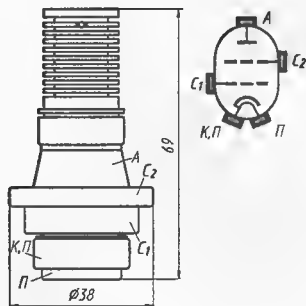
Металлокерамические генераторные триоды. Предназначены для генерирования и усиления колебаний в непрерывном режиме в схемах с общей сеткой в диапазоне частот до 1000 МГц.

Долговечность не менее 250 ч.

Масса ГС-7А (ГС-7А-1) не более 850 г. ГС-7Б (ГС-7Б-1) — 2,8 кг.



ГС-15Б



Металлокерамический генераторный тетрод. Предназначен для генерирования и усиления колебаний высокой частоты в непрерывном режиме в схемах с общей сеткой.

Долговечность не менее 2000 ч.

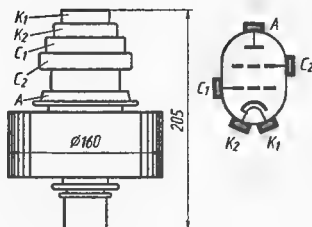
Масса не более 140 г.

ГС-17Б

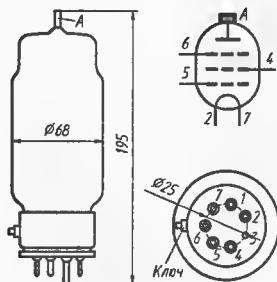
Металлокерамический генераторный тетрод. Предназначен для усиления мощности и генерирования колебаний СВЧ в диапазоне частот до 1000 МГц.

Долговечность не менее 1000 ч.

Масса не более 6,6 кг.



ГК-71



Стеклянный генераторный пентод. Предназначен для усиления и генерирования высокочастотных колебаний.

Долговечность не менее 1000 ч.

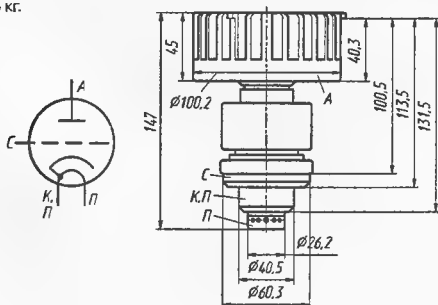
Масса не более 320 г.

ГС-1Б, ГС-1Б-1

Генераторные триоды для усиления и генерирования высокочастотных колебаний в дециметровом диапазоне.

Оформление — металлокерамическое, с цилиндрическими выводами катода, сетки и подогревателя. Охлаждение — воздушное, принудительное.

Масса 1,5 кг.



БИПОЛЯРНЫЕ И ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ ВЫХОДНЫХ КАСКАДОВ

Параметры широко распространенных биполярных и полевых мощных отечественных транзисторов приведены в табл. П.3.2–П.3.4, цоколевка транзисторов — на рис. П.3.2., П.3.3.

Таблица П.3.2

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РЕЖИМЫ БИПОЛЯРНЫХ МОЩНЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Тип прибора	Рекомендуемое напряжение питания, В	Рекомендуемый рабочий диапазон частот, МГц	Выходная мощность, Вт	Измеренная на частоте, МГц	$I_{К\text{ макс}}$, А
КТ610А	12,6	...1250	1	400	0,3
КТ610Б	12,6	...1100	1	400	0,3
КТ904А	28	100...400	3	400	0,8
КТ904Б	28	100...400	2,5	400	0,8
КТ907А	28	100...400	8	400	1
КТ907Б	28	100...400	6	400	1
КТ909А	28	100...500	20	500	2
КТ909Б	28	100...500	40	500	4
КТ909Г	28	100...500	30	500	4
КТ909В	28	100...500	15	500	2
КТ911А, В	28	400...	1	1800	0,4
КТ911Б, С	28	400...	1	1000	0,4
КТ913А	28	200...1000	3	1000	0,5
КТ913Б	28	200...1000	5	1000	1
КТ916А	28	200...1000	20	1000	2
КТ919А	28	700...2400	4,4	2000	0,7
КТ919Б	28	700...2400	2	2000	0,35
КТ919В	28	700...2400	1	2000	0,2
КТ920А	12,6	50...200	2	175	0,5
КТ920Б	12,6	50...200	7	175	1
КТ920Г	12,6	50...200	15	175	3
КТ920В	12,6	50...200	20	175	3
КТ922А	28	50...	5	175	0,8
КТ922Б	28	50...	20	175	1,5
КТ922Д	28	50...	35	175	3
КТ922В	28	50...	40	175	3
КТ925А	12,6	200...400	2	320	0,8
КТ925Б	12,6	200...400	7	320	1,5
КТ925Г	12,6	200...400	15	320	3,3
КТ925В	12,6	200...400	20	320	4
КТ929А	8	50...	2	175	0,8
КТ930А	28	100...400	40	400	6
КТ930Б	28	100...400	75	400	10

Таблица П.3.2
(Окончание)

Тип прибора	Рекомендуемое напряжение питания, В	Рекомендуемый рабочий диапазон частот, МГц	Выходная мощность, Вт	Измеренная на частоте, МГц	$I_{\text{к макс}}$, А
KT931A	28	50...200	80	175	16
KT934A	28	100...400	3	400	0,5
KT934Б	28	100...400	12	400	1
KT934В	28	100...400	25	400	2
KT937A2	21	900...6000	2	5000	0,25
KT939A	12,6	...2500	1,6	2000	0,4
KT942A	28	700...2000	9	2000	1,5
KT942B	28	700...2000	7	2000	1,5
KT946A	28	400...1500	30	1000	2,5
KT948A	28	700...2300	18	2000	2,5
KT948Б	28	700...2300	9	2000	1,2
KT950A	28	30...80	70	80	10
KT950Б	28	1,5...30	50	30	7
KT951A	28	30...80	25	80	5
KT951Б	28	1,5...30	20	30	3
KT955A	28	1,5...30	20	30	6
KT956A	28	1,5...30	100	30	15
KT957A	28	1,5...30	125	30	20
KT958A	12,6	50...200	40	175	10
KT960A	12,6	100...400	40	400	7
KT962A	28	400...1000	10	1000	1,5
KT962Б	28	400...1000	20	1000	2,5
KT962B	28	400...1000	40	1000	4
KT963A2	15	2000...10000	0,9	10000	0,2
KT964A	40	30...80	150	80	10
KT985A	12,6	1,5...30	20	30	4
KT966A	12,6	1,5...30	40	30	8
KT967A	12,6	1,5...30	90	30	15
KT970A	28	100...400	100	400	13
KT971A	28	50...200	150	175	17
KT976A	28	...1000	60	1000	6
KT980A	50	1,5...30	250	30	15
KT980Б	50	30...80	250	80	15
KT981A	12,6	30...80	50	80	10
KT982A2	17	3000...7000	3,5	7000	0,6
KT985AC	28	220...400	125	400	17
KT991AC	28	250...700	55	700	3,7
KT9111A	50	1,5...80	150	80	10

 KT606, KT904, KT907, KT914, KT921	 KT909	KT610, KT911, KT913, KT920, KT922, KT925, KT929, KT934, KT939, KT956, KT957, KT962, KT967, KT976, KT980, KT981	 ГТ703, ГТ705, КТ612, КТ618, КТ619, КТ626, КТ627, КТ628, КТ640, КТ932, КТ945	 КТ930, КТ931, КТ958, КТ960
 КТ918, КТ937	 КТ802, КТ803, КТ805, КТ808, КТ809, КТ902, КТ903, КТ908	 КТ912	 КТ601, КТ603, КТ604, КТ605, КТ608, КТ611	 КТ630, КТ633, КТ635, КТ916, КТ928
 КТ640	 КТ991, КТ964, КТ9111А, КТ985, КТ970, КТ971	 КТ926, КТ935	 КТ607, ГТ612	 КТ955, КТ965, КТ966

Рис. П.3.2. Цолевка биполярных транзисторов

Многие предприятия электронной промышленности стран бывшего СССР в настоящее время выпускают полевые транзисторы со своей заводской маркировкой. Наиболее доступными в России являются транзисторы производства Белоруссии, их параметры приведены в табл. П.3.3. Эти транзисторы предназначены для работы в ключевых устройствах преобразователей напряжения, но как показывает опыт, они успешно работают и в усилителях мощности на частотах до 30 МГц. Для некоторых из указанных типов транзисторов необходимо подавать небольшое положительное смещение для их нормальной работы.

Таблица П.3.3

ПАРАМЕТРЫ МОЩНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Обозначение	Аналог	$P_{\text{МАКС}}$ Вт	$U_{\text{СН МАКС}}$ В	$U_{\text{ЗП МАКС}}$ В	$I_{\text{С МАКС}}$ А	$R_{\text{СН}}$ Ом	$I_{\text{ОСТ}}$ мкА	S , А/В
КП723А	IRFZ44	125	60	±20	50	0,028	250	>15
КП723Б	IRFZ45	125	60		50	0,035		>15
КП723В	IRFZ34	88	60		30	0,05		>10
КП723Г	IRFZ40	125	50		50	0,028		>17
КП727А	BUZ71	40	50	±20	14	0,1	250	>3,0
КП727Б	IRFZ30	90	50		30	0,05		>9,3
КП727В		90	60		30	0,05		>9,3
КП727Г		90	50		25	0,08		>6,0
КП727Д		75	50		17	0,12		>3,0
КП727Е		90	80		14	0,1		>8,7
КП727Ж		90	80		25	0,85		>5,0

Таблица П.3.4

ПАРАМЕТРЫ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Тип	$P_{\text{мощ}} \cdot \text{Вт}$	$U_{\text{охл}} \cdot \text{В}$	$U_{\text{сч.мощ}} \cdot \text{В}$	$U_{\text{зп.мощ}} \cdot \text{В}$	$I_{\text{сч.мощ}} \cdot \text{мА}$	$T_{\text{мощ}} (T_{\text{сч.мощ}}) \cdot ^\circ\text{C}$	$U_{\text{зп.отс.}} \cdot \text{В}$	$S_{\text{г}} \cdot \text{мА/В}$	$I_{\text{сч.отс.}} \cdot \text{мА}$	$C_{\text{инт}} \cdot \text{пФ}$	$C_{\text{зп.отс.}} \cdot \text{пФ}$	$C_{\text{зп.отс.}} \cdot \text{пФ}$	$K_{\text{инт.дБ}} (E_{\text{отс.}} \cdot \text{В/Гц})$	$K_{\text{зп.дБ}}$
КП902А, Б	3,5	50		30	200	(85)		10	10	11	11	0,6	6	8...12
КП902В	3,5	50		30	200	(85)		10	10	11	11	0,8	8	8...12
КП905А	4	60	70	± 30	350	(85)		18...39	20	7	4	0,6	6	8...15
КП914А	4	60	70	± 30	350	(85)		18...39	20	7	4	0,6	6,5	6...10
КП905В	4	60	70	± 30	350	(85)		18...39	20	13	6	0,8	6,5	4...8
КП903А	6	20	20	15	700	(100)	5...12	85...140	120...700	(15)	(18)		(5)	7,6...16
КП903Б	6	20	20	15	700	(100)	1...6,5	50...130	60...480	(15)	(18)		(5)	7,6...16
КП903В	6	20	20	15	700	(100)	1...10	60...140	90...600	(15)	(18)		(5)	7,6...16
КП907А	11,5	60	70	± 30	2200	100		110...200	20...100			3		
КП907Б	11,5	60	70	± 30	1500	100		110...200	20...100			3		
КП901А	20	70	85	30	4000	(100)		50...160	15...200		(100)	10		7...12,5
КП901Б	20	70	85	30	4000	(100)		60...170	15...200		(100)	10		10...16
КП904А	75	70	90	30		(100)		250...510	6...350		(300)			11...14
КП904Б	75	70	90	30		(100)		250...510	6...350		(300)			11...14

Широкое распространение в настоящее время получили импортные мощные полевые транзисторы серии IRF. В табл. П.3.5 приведены данные наиболее доступных импортных полевых транзисторов. Они предназначены для работы в импульсных блоках питания, но могут успешно применяться в мощных выходных каскадах передатчиков на частотах до 30 МГц. Следует обратить внимание, что транзисторы, указанные в табл. 3.3 и П.3.5, работают хуже, чем специальные высокочастотные отечественные транзисторы (табл. П.3.4), и особенно это заметно, когда полевые транзисторы используются в смесителях простых трансиверов прямого преобразования. Специальные высокочастотные зарубежные полевые транзисторы, предназначенные для работы в радиопередающих устройствах, стоят в 2...5 раз дороже отечественных аналогов, но тоже могут быть приобретены в специализированных магазинах.

Таблица П.3.5
ПАРАМЕТРЫ ИМПОРТНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Обозначение	$P_{\text{МАКС}}$ Вт	$U_{\text{СИ МАКС}}$ В	$U_{\text{ЗИ МАКС}}$ В	$I_{\text{С МАКС}}$ А	$R_{\text{СИ}}$ Ом
IRFZ46	125	50	± 20	50	0,024
IRFZ48	125	80	± 20	50	0,018
IRF510	43	100	± 20	5,6	0,54
IRF520	60	100	± 20	9,2	0,27
IRF530	88	100	± 20	14,0	0,16
IRF540	125	100	± 20	28,0	0,077
IRF510	36	200	± 20	3,3	1,5
IRF620	50	200	± 20	5,2	0,8
IRF630	74	200	± 20	9,0	0,4
IRF634	74	250	± 20	8,1	0,45
IRF710	36	400	± 20	2,0	3,6
IRF720	50	400	± 20	3,3	1,8
IRF730	74	400	± 20	5,5	1,0

Следует обратить внимание, что сток полевых транзисторов КП7xxx и IRFxxx соединен с корпусом, что часто создает некоторые неудобства при их использовании для построения выходных каскадов передатчиков.

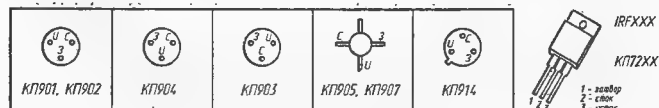


Рис. П.3.3. Цоколевка полевых транзисторов

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ МОДУЛИ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

В настоящее время модули усилителей мощности нашли широкое применение в современных импортных и отечественных средствах связи. Практически все зарубежные малогабаритные и многие стационарные радиостанции УКВ имеют в своем составе высокочастотный модуль усилителя мощности. Они сейчас широко представлены в продаже в специализированных магазинах, их можно заказать предварительно. Модули усилителей мощности еще не нашли широкого применения в радиолюбительской аппаратуре, но это дело ближайшего будущего. Технические характеристики наиболее распространенных модулей представлены в табл. П.3.6, их внешний вид и обозначение выводов приведены на рис. П.3.4.

Таблица П.3.6

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ МОДУЛЕЙ

Наименование	Частотный диапазон, МГц	Максимальная рабочая полоса частот, МГц	$P_{\text{выхода}}$, Вт	$P_{\text{входа}}$, мВт	Класс работы выходного каскада	Корпус
SAU4	430...450	430...450	10	200	AB	H4
SAU11	902...905	902...915	8	200	C	H4
SAU12	870...915	—	8	1	C	H4
SAU16SH	490...512	470...520	5	150	AB	H3
SAU17A	870...915	870...920	8	1	C	H2
SAV8	154...162	152...164	28	200	C	H2
SAV7	144...146	143...149	26	200	C	H2
SAV12	144...148	130...160	5	150	AB	H2
SAV15	220...225	—	30	200	C	H2
SAV17	144...148	—	50	400	C	H2
SAV22A	144...148	130...160	7	15	C	H2
M57704L	400...420	—	13	200	C	H3A
M57704M	430...450	—	13	200	C	H3A
M57704H	450...470	—	13	200	C	H3A
M57704SH	490...512	—	13	200	C	H3A
M57706	145...175	—	8	200	C	H2
M57710A	156...160	152...164	25	200	C	H2
M57713	144...149	—	10	200	AB	H3B
M57715	144...148	—	10	200	C	H2
M57716	430...450	—	10	200	AB	H3C
M57719N	142...163	140...165	10	200	C	H2
M87726	144...146	140...152	40	200	C	H2B
M57727	144...148	140...150	25	200	AB	H3B
M57729	430...450	430...450	30	600	C	H3A
M57729H	450...470	450...470	30	600	C	H3A
M57732L	135...160	—	5	20	AB	H12A
M57735	50...54	48...56	10	200	AB	H3C
M57737	144...148	140...152	25	200	C	H2
M57737R	144...148	140...152	25	200	C	H2
M57739C	824...849	—	6	30	C	H10

Таблица П.3.6
(Окончание)

Наименование	Частотный диапазон, МГц	Максимальная рабочая полоса частот, МГц	P выхода, Вт	P входа, мВт	Класс работы выходного каскада	Корпус
M57741L	148...180	140...170	25	200	C	H2
M57741M	158...168	148...175	25	250	C	H2
M57741H	164...175	155...185	25	300	C	H2
M57744	905...915	900...920	13	400	C	H3A
M57745	430...450	430...450	25	300	AB	H3C
M57747	144...148	140...150	10	200	C	H6
M57755	806...866	800...875	10	100	C	H5
M57759	890...915	890...915	0-2	2	C	H3
M57762	1240...1300	1240...1300	20	1000	AB	H3
M57764	806...825	800...830	15	400	C	H3A
M57737R	144...148	140...152	25	200	C	H2
M57739C	824...849	—	6	30	C	H10
M57741L	148...160	140...170	25	200	C	H2
M57741M	156...168	148...175	25	250	C	H2
M57741H	164...175	155...185	25	300	C	H2
M57744	905...915	900...920	13	400	C	H3A
M57745	430...450	430...450	25	300	AB	H3C
M57747	144...148	140...150	10	200	C	H6
M57755	806...866	800...875	10	100	C	H5
M57759	890...915	890...915	0-2	2	C	H3A
M57762	1240...1300	1240...1300	20	1000	AB	H3
M57764	806...825	800...830	15	400	C	H3A
M57774	220...225	219...232	30	300	C	H2
M57783L	135...160	125...175	7	50	AB	HG13
M57785L	135...150	127...163	7	50	AB	H12A
M57785M	150...162	—	7	50	AB	H12A
M57785H	162...174	—	7	50	AB	H12A
M57787	1240...1300	1240...1300	3	10	C	H13A
M57788M	430...450	—	45	400	C	H3A
M57796H	150...175	140...190	7	200	AB	H14
M57796MA	144...148	135...160	7	200	AB	H14
M57797H	450...470	—	7	200	AB	H14
M57797MA	440...450	420...460	7	100	AB	H14
M67705L	400...430	400...430	7	20	AB	H13A
M67705M	430...470	—	7	20	AB	H13A
M67705H	470...512	—	7	20	AB	H13A
M67712	220...225	219...239	30	200	AB	H3B
M67715	1240...1300	1240...1300	1-5	10	AB	H13A
M67727	144...148	—	65	500	AB	H17
M67728	156...168	—	65	14W	AB	H17
M67742	68...88	60...100	30	500	C	H2

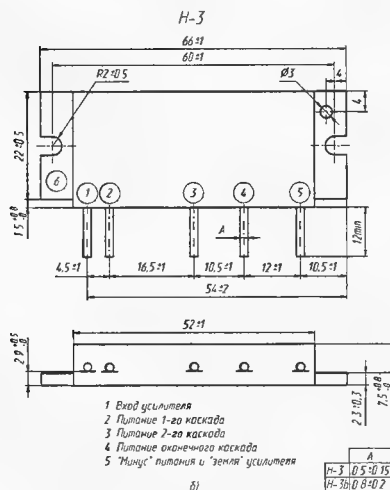
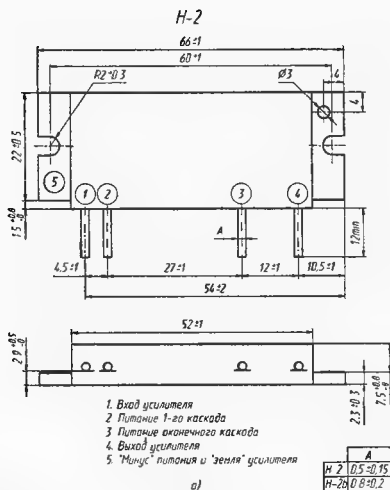


Рис. П.3.4. Цоколевка и внешний вид высокочастотных модулей.
Размеры указаны в миллиметрах

Как видно из табл. П.3.6, многие модули могут работать в любительских диапазонах с приемлемой выходной мощностью. Модули, работающие в режиме С, можно использовать для усиления CW и FM сигналов, модули, работающие в режиме АВ — для усиления SSB сигналов. Модули, работающие в диапазоне частот до 250 МГц, обычно четырехвыводные, имеющие в своем составе два условных каскада усиления мощности, модули, работающие в диапазонах частот свыше 300 МГц, обычно пятивыводные, имеющие в своем составе три условных каскада усиления мощности. Иногда встречаются модули, выполненные в корпусе другого типа, но функциональное расположение выводов остается стандартным.

При монтаже модулей следует учитывать, что металлическая пластина крепления к радиатору соединена с минусом питания внутри модуля и является его «минусовым» контактом, поэтому она должна иметь надежный электрический контакт с корпусом радиостанции. В то же время ее нельзя слишком сильно притягивать винтами, так как из-за возможной деформации может произойти отслоение подложки микросхемы и модуль выйдет из строя. Поэтому необходимо использовать теплопроводящую смазку между корпусом радиостанции и модулем. Пластик, из которого выполнен корпус модуля, может расколоться при падении модуля на твердую поверхность. При пайке модуля необходимо использовать низкотемпературный припой и пользоваться по возможности теплоотводящим пинцетом при пайке выводов. Следует обратить внимание, что при пайке выводов модулей следует соблюдать аккуратность, иначе они могут быть повреждены. При пайке необходимо использовать только спиртоканифоль, все остальные флюсы недопустимы!

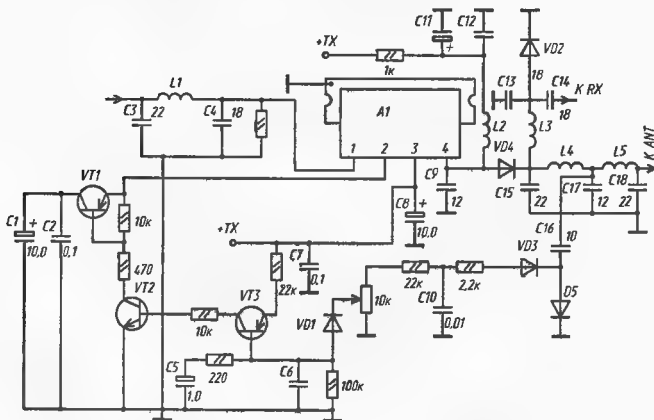


Рис. П.3.5. Стандартная схема включения четырехвыводного модуля

Модули имеют входное и выходное сопротивление 50 Ом, что позволяет хорошо их согласовывать с входными-выходными цепями. Напряжение питания модулей 12,5...14 В, но при снижении мощности многие модули удовлетворительно работают при напряжении питания до 6 В.

Стандартная схема включения четырехвыводного модуля показана на рис. П.3.5. Схема защиты уменьшает напряжение на предварительном каскаде при увеличении

высокочастотного напряжения не выходе модуля, что эквивалентно обрыву антенны. Это одна из наиболее простых и часто используемых схем защиты, но она не спасает модуль при его работе на короткозамкнутую нагрузку. Существуют специализированные микросхемы защиты, обеспечивающие отключение модуля как при обрыве, так и при коротком замыкании в антенне, но здесь они не рассматриваются.

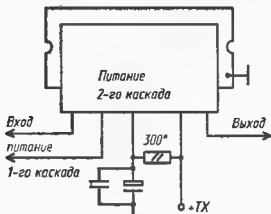


Рис. П.3.6. Упрощенная схема включения пятивыводного модуля

Упрощенная схема включения пятивыводного модуля приведена на рис. П.3.6. Она отличается от рассмотренной лишь в том, что подача постоянного напряжения на второй каскад усилителя. Были проведены эксперименты по использованию высокочастотных модулей в отечественной радиоаппаратуре. Модуль М57726 установлен в радиостанцию «Маяк». Он хорошо работал с цепями согласования и защиты от старого усилителя мощности.

Применение модуля М57747 совместно с переделанной радиостанцией «Днепр» позволило простыми методами достичь выходной мощности 10 Вт при сохранении небольших размеров.

Можно рекомендовать радиолюбителям шире использовать эти модули в радиолюбительской аппаратуре, что позволит существенно упростить ее схемотехнику и добиться высоких параметров передатчиков простыми способами.

Приложение 4

ФЕРРИТОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Еще недавно ферритовые кольца, особенно для работы на частотах 2...30 МГц, использовались, в основном, в специальной аппаратуре и не были предназначены для широкой продажи.

В настоящее время наравне с отечественными в продаже имеются и зарубежные ферритовые изделия. В табл. П.4.1 приводятся характеристики широко распространенных ферритов, маркированные согласно условиям «Amidon Associates». Практически все фирмы придерживаются этой классификации, а если используют свою оригинальную, то обязательно указывают, какой аналог ферритового изделия по классификации «Amidon» ему соответствует.

К сожалению, подобная практика еще не принята отечественными производителями ферритов, хотя в последнее время и здесь начинается переход на общепринятую в мире классификацию ферритов. Ферриты следует использовать на частотах ниже частоты их оптимальной добротности. В крайнем случае частота использования может превышать частоту оптимальной добротности не более чем на 20%. Мощность ферритового кольца показывает, какая мощность может проходить по его обмоткам. Для увеличения мощности ферритов можно сложить вместе несколько фер-

ритовых сердечников. В табл. П.4.1 указаны лишь недорогие и широко распространенные ферриты средней мощности. При увеличении проходящей мощности необходимо увеличивать размеры самого кольца или использовать несколько сложенных вместе колец.

Таблица П.4.1

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЕРРИТОВ, МАРКИРОВАННЫЕ СОГЛАСНО УСЛОВИЯМ «AMIDON ASSOCIATES»

Тип по спецификации «Amidon»	Материал сердечника	Оптимальная частота работы, МГц	Внешний диаметр, см	Максимальная проходящая мощность, Вт
T-37-3	Карбонильное железо	0,6	0,93	5
T-37-2		4		5
T-37-6		12		5
T-37-10		40		5
T-37-12		90		5
T-50-3		0,6	1,27	25
T-50-2		4		25
T-50-6		12		25
T-50-10		40		25
T-50-12		90		25
T-68-3		0,6	1,72	75
T-68-2		4		75
T-68-6		12		75
T-68-10		40		75
T-68-12		90		75
FT-37-43	Феррит	1	0,93	1
FT-37-64		4		1
FT-37-61		10		1
FT-37-63		25		1
FT-37-67		80		1
FT-37-68		180		1
FT-50-43		1	1,27	5
FT-50-64		4		5
FT-50-61		10		5
FT-50-63		25		5
FT-50-67		80		5
FT-50-68		180		5
FT-82-43		1	2,1	25
FT-82-64		4		25
FT-72-61		10		25
FT-82-63		25		25
FT-82-67		80		25
FT-82-68		180		25

Таблица П.4.2

ЗНАЧЕНИЯ А-ФАКТОРА (мкГч/100 ВИТКОВ) ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ФЕРРИТОВ
НА ЧАСТОТЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОБРОТНОСТИ

Типоразмер кольца по специ- фикации «Amdon»	Частота работы феррита, МГц →	0...0,05	0,05...0,5	0,1...2	0,5...5	1...30	10...90	60...150	100...200	150...300
	Тип по спецификации «Amdon» →	41	3	15	1	2	6	10	12	0
	Относительная магнитная проницаемость →	75	35	25	20	10	8	6	3	1
	T37 AL →	308	120	90	80	40	30	25	15	4,9
	T50 AL →	320	175	135	100	49	40	31	18	6,4
	T68 AL →	420	195	180	115	57	47	32	21	7,5
	T80 AL →	450	180	170	115	55	45	32	22	8,5
мкГч на 100 витков										

Индуктивность обмотки ферритового кольца, намотанной равномерно по всему периметру кольца и имеющей число витков более 10, легко определить по следующей формуле:

$$N = 100 \sqrt{\frac{L}{A_L}},$$

где N — число витков;

L — индуктивность катушки, мкГн;

A_L — индуктивный фактор кольца.

Определив параметр A_L для конкретного ферритового кольца, можно легко определять индуктивность. Наиболее просто определить A_L расчетным путем, намотав равномерно на кольцо 10...20 витков, измерить их индуктивность с помощью R/LC -метра, затем с помощью формулы найти A_L -фактор. Этот метод имеет погрешность примерно 10...20%, которая объясняется тем, что A_L -фактор зависит и от частоты работы феррита. Измерение индуктивности производится в стандартных R/LC -метрах на частотах 100 Гц или 1 кГц. Для точного определения индуктивности можно вычислить A_L -фактор и на радиочастотах, но для радиолюбительских расчетов вполне достаточно вычислить его при измерении индуктивности катушки на частоте 1 кГц. В табл. П.4.2 приведены значения A_L -фактора для некоторых типов ферритов, измеренные на частоте оптимальной добротности по данным их фирм изготовителей.

Приложение 5

КОАКСИАЛЬНЫЕ КАБЕЛИ

Коаксиальный кабель представляет собой цилиндрический проводник, внутри которого по оси цилиндра проложен провод. Цилиндрический проводник называется внешним проводником коаксиальной линии (оплетка), а провод, проходящий внутри проводника — внутренним или центральным проводником кабеля. Для обеспечения постоянного расстояния между центральным и внутренним проводником пространство между ними заполнено диэлектриком.

В табл. П.5.1 приведены характеристики наиболее доступных радиолюбителям отечественных коаксиальных кабелей. В обозначении коаксиальных кабелей первые буквы РК означают радиокабель, две следующие цифры, например 75 — его волновое сопротивление. Затем могут следовать еще две цифры, которые в новых типах кабелей обозначают: первая — диаметр внешней оплётки, вторая — диаметр всего кабеля в защитной изоляции.

Таблица П.5.1

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КОАКСИАЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ

Марка кабеля	Центральный проводник		Диаметр изоляции, мм	Размер оболочки, мм		Волновое сопротивление, Ом
	Конструкция	Диаметр, мм				
РК-75-4-11	1 × 0,72	0,72	4,6	7,3		75 ± 3
РК-75-4-12	7 × 0,26	0,78	4,6	7,4		75 ± 3
РК-75-4-13	7 × 0,26	0,78	4,6	7,6		75 ± 3
РК-75-4-14	7 × 0,26	0,78	4,6	7,3		75 ± 3
РК-75-4-15	1 × 0,72	0,72	4,6	7,3		75 ± 3

Таблица П.5.1
(Окончание)

Марка кабеля	Центральный проводник		Диаметр изоляции, мм	Размер оболочки, мм		Волновое сопротивление, Ом
	Конструкция	Диаметр, мм				
РК-75-4-16	7 × 0,26	0,78	4,6	7,3		75 ± 3
РК-74-4-18	1 × 0,72	0,72	4,6	7,3		75 ± 3
РК-75-4-11	7 × 0,26	0,78	4,6	7,3		75 ± 3
РК-75-4-21	1 × 0,85	0,85	4,6	6		75 ± 3
РК-75-4-22	7 × 0,30	0,9	4,6	6		75 ± 3
РК-75-7-12	7 × 0,40	1,2	7,3	10,3		75 ± 3
РК-75-7-11	1 × 1,13	1,13	7,3	9,5		75 ± 3
РК-75-7-15	1 × 1,13	1,13	7,3	9,5		75 ± 3
РК-75-7-16	7 × 0,40	1,2	7,3	9,5		75 ± 3
РК-75-7-18	1 × 1,09	1,09	7,3	9,3		75 ± 3
РК-75-7-21	1 × 1,3	1,3	7,3	8,9		75 ± 3
РК-75-7-22	7 × 0,46	1,38	7,3	8,9		75 ± 3
РК-75-7-23	7 × 0,56	1,68	9	11,4		75 ± 3
РК-75-9-12	1 × 1,35	1,35	9	12,2		75 ± 3
РК-75-9-13	1 × 1,35	1,35	9	12,2		75 ± 3
РК-75-9-14	1 × 1,35	1,35	9	13,2		75 ± 3
РК-75-9-16	1 × 1,35	1,35	9	12,3		75 ± 3
РК-50-2-11	1 × 0,6	0,6	4	5,6		50 ± 2
РК-50-2-13	1 × 0,6	0,6	4	5,6		50 ± 2
РК-50-3-11	1 × 0,90	0,9	3		5,3	50 ± 3
РК-50-3-13	1 × 0,90	0,9	3		5,3	50 ± 3
РК-50-4-11	1 × 1,37	1,37	4,6		9,6	50 ± 3
РК-50-4-13	1 × 1,37	1,37	4,8		9,6	50 ± 3
РК-50-7-11	7 × 0,78	2,28	7,3		10,3	50 ± 3
РК-50-7-12	7 × 0,76	2,28	7,3		11,2	50 ± 2
РК-50-7-13	7 × 0,78	2,28	7,3		10,3	50 ± 2
РК-50-7-15	7 × 0,76	2,28	7,3		10,3	50 ± 0,2
РК-50-7-16	7 × 0,76	2,28	7,9		11,2	50 ± 0,2
РК-50-9-11	7 × 0,90	2,7	9		12,2	50 ± 2
РК-50-9-12	7 × 0,90	2,7	9		12,2	50 ± 2
РК-50-11-1	7 × 1,13	3,39	11		14	50 ± 2
РК-50-11-1	7 × 1,13	3,39	11		14	50 ± 2
РК-50-4-21	1 × 1,54	1,54	4,6	6,6		50 ± 2
РК-50-7-22	7 × 0,83	2,49	7,3	9		50 ± 2
РК-50-7-28	7 × 0,83	2,49	7,3	12,3		50 ± 2
РК-50-9-22	7 × 1,01	3,03	9	12		50 ± 2
РК-50-9-23	7 × 1,01	3,03	9	14,2		50 ± 2
РК-50-11-2	7 × 1,19	3,57	11	13		50 ± 2

Импортные кабели обычно имеют обозначения согласно американскому стандарту. Первые буквы RG означают Radio Guide, т. е. «волновод». Далее идет цифровой код разработки кабеля, затем буквы U или M: U (Utility) — для общего применения, M (Military) — для специального применения. Следует заметить, что кабель с маркировкой M не поставляется официально в страны СНГ. В табл. П.5.2 приведены характеристики наиболее распространенных импортных коаксиальных кабелей.

Таблица П.5.2

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ИМПОРТНЫХ КОАКСИАЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ

Марка кабеля	Внешний диаметр, мм	Волновое сопротивление, Ом	Затухание, дБ/м, на частоте, МГц			Погонная емкость, пФ/м	Максимальное рабочее напряжение, В
			1	10	100		
RG-5/U	8,4	52,5	0,0069	0,0253	0,0951	93,5	3000
RG-5B/U	8,4	50	0,0052	0,0217	0,0787	96,78	3000
RG-6A/U	8,4	75	0,0069	0,0256	0,0951	65,62	2700
RG-8A/U	10,3	50	0,0052	0,018	0,0656	100,07	4000
RG-9/U	10,7	51	0,0052	0,0187	0,0656	96,42	4000
RG-9B/U	10,8	50	0,0057	0,02	0,0689	100,07	4000
RG-10A/U	12,1	50	0,0052	0,018	0,0656	100,07	4000
RG-11A/U	10,3	75	0,0059	0,023	0,0755	67,26	5000
RG-12A/U	12,1	75	0,0059	0,0217	0,0755	67,26	4000
RG-13A/U	10,8	75	0,0059	0,0217	0,0755	67,26	4000
RG-14A/U	13,8	50	0,0039	0,0135	0,0459	96,42	5500
RG-16/U	16	52	0,0033	0,0131	0,0394	96,78	6000
RG-17U	23	50	0,0022	0,0074	0,0262	96,42	11000
RG-18A/U	24	50	0,0022	0,0074	0,0262	100,07	11000
RG-19A/U	26,4	50	0,0014	0,0056	0,0223	100,07	14000
RG-20A/U	30,4	50	0,0014	0,0056	0,0223	100,07	14000
RG-21A/U	8,4	50	0,0459	0,1444	0,4265	96,42	2700
RG-29/U	4,7	53,5	0,0106	0,0394	0,1444	93,5	1900
RG-34A/U	16	75	0,0021	0,0095	0,0427	67,26	5200
RG-34B/U	16	75	—	0,0098	0,0459	70,54	6500
RG-35A/U	24	75	0,0023	0,0077	0,0279	67,26	10000
RG-54A/U	6,4	58	0,0059	0,0243	0,1017	86,94	3000
RG-55A/U	5,5	50	0,0118	0,0427	0,1575	96,78	1900
RG-55B/U	5,2	53	0,0118	0,0427	0,1575	93,5	1900
RG-58/U	5	53,5	0,0108	0,041	0,1526	93,5	1900
RG-58C/U	5	50	0,0138	0,0459	0,1608	98,42	1900
RG-59A/U	6,1	75	0,0112	0,0361	0,1115	67,26	2300
RG-59B/U	6,1	75	—	0,0361	0,1115	68,9	2300

Таблица П.5.2
(Окончание)

Марка кабеля	Внешний диаметр, мм	Волновое сопротивление, Ом	Затухание, дБ/м, на частоте, МГц			Погонная емкость, пФ/м	Максимальное рабочее напряжение, В
			1	10	100		
RG-62A/U	6,1	93	0,0082	0,0279	0,0886	44,29	700
RG-74A/U	15,6	50	0,0033	0,0125	0,0492	96,42	5500
RG-83/U	10,3	35	0,0075	0,0262	0,0919	144,36	2000
RG-213/U	10,3	50	0,0052	0,0197	0,0623	96,78	5000
RG-218/U	23	50	0,0022	0,0066	0,0328	96,79	11000
RG-220/U	29,4	50	0,0013	0,0066	0,023	96,78	14000
RG-8X	6,5	52	0,085	0,342	0,123	96	4000
Flexi-4XL	10,3	50	0,036	0,012	0,0426	82	8000
BURY-8	10,3	50	0,065	0,342	0,123	100	4000
RG-59	6,5	73	0,078	0,326	0,112	67	2300

В табл. П.5.2 включены два специальных кабеля: BURY — имеет прочную внешнюю оболочку и может работать под землей и под водой без повреждения весь свой срок эксплуатации (10 лет); FLEXI — гибкий кабель, предназначен для подключения к вращающимся элементам антенн.

ЗАРУБЕЖНЫЙ СТАНДАРТ ПРОВОДА

В зарубежной радиолобительской литературе диаметр провода приводится под условным номером. Диаметр провода и номер его обозначения связаны с дюймовым стандартом обозначения. Для перевода условного номера провода в его реальный диаметр удобно пользоваться приведенной ниже таблицей.

Таблица П.5.3

ТАБЛИЦА ПЕРЕВОДА УСЛОВНОГО НОМЕРА ПРОВОДА В ЕГО ДИАМЕТР

Условный номер	Диаметр, мм		
	SWG	AWG	BWG
0000	10,16	11,68	11,53
000	9,45	10,41	10,80
00	8,64	9,27	9,55
0	8,23	8,25	8,64
1	7,62	7,35	7,62
2	7,01	6,54	7,21
3	6,40	5,83	6,58
4	5,89	5,19	6,05
5	5,38	4,62	5,59
6	4,88	4,11	5,16
7	4,47	3,66	4,57

Таблица П.5.3
(Окончание)

Условный номер	Диаметр, мм		
	SWG	AWG	BWG
8	4,06	3,26	4,19
9	3,66	2,90	3,76
10	3,25	2,69	3,40
11	2,95	2,30	3,05
12	2,64	2,05	2,77
13	2,34	1,83	2,41
14	2,03	1,63	2,11
15	1,83	1,45	1,83
16	1,63	1,29	1,65
17	1,42	1,15	1,47
18	1,22	1,02	1,24
19	1,02	0,91	1,07
20	0,92	0,81	0,99
21	0,81	0,72	0,81
22	0,71	0,64	0,71
23	0,61	0,57	0,64
24	0,56	0,51	0,56
25	0,51	0,45	0,51
26	0,46	0,40	0,46
27	0,41	0,36	0,41
28	0,38	0,32	0,356
29	0,35	0,29	0,33
30	0,305	0,25	0,305
31	0,29	0,23	0,254
32	0,27	0,20	0,299
33	0,254	0,18	0,203
34	0,229	0,16	0,178
35	0,203	0,14	0,127
36	0,178	0,13	0,102
37	0,17	0,11	
38	0,15	0,10	
39	0,127	0,08	

В США и Канаде используется стандарт провода AWG; в странах Европы — стандарт SWG; в Англии — стандарт BWG.

Часто в литературных источниках, изданных в этих странах, ссылка на стандарт используемого провода опускается. Подразумевается, что используется стандарт, принятый в этих странах.

ТАБЛИЦЫ ДЕЦИБЕЛ

Часто в литературе отношение мощностей, напряжений и токов выражается в децибелах. Шкалы практически всех профессиональных высокочастотных вольтметров и большинства измерителей мощности имеют шкалу, проградуированную в децибелах. Это связано с тем, что часто удобнее пользоваться выражением отношений величин, чем оперировать с их номинальными значениями. Математические формулы перевода отношений измеряемых величин приведены в Приложении 7. В табл. П.6.1 приведены рассчитанные отношения напряжений (токов) и мощности относительно уровня мощности 1 Вт. Эта таблица при использовании таблицы калибровки S-шкалы трансивера может быть использована для определения минимально необходимой мощности для проведения радиосвязей. В табл. П.6.3 приведены значения токов и напряжений относительно уровня напряжения 1 В или тока 1 А.

Таблица П.6.1

ОТНОШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ (ТОКОВ) И МОЩНОСТИ, ВЫРАЖЕННЫЕ В ДЕЦИБЕЛАХ

дБ	$U, I \ 1:1$	$P \ 1:1$	дБ	$U, I \ 1:1$	$P \ 1:1$
-0,1	0,989	0,977	+0,1	1,012	1,023
-0,2	0,977	0,955	+0,2	1,0223	1,047
-0,3	0,966	0,933	+0,3	1,035	1,072
-0,4	0,955	0,912	+0,4	1,047	1,097
-0,5	0,944	0,891	+0,5	1,059	1,122
-0,6	0,933	0,871	+0,6	1,072	1,146
-0,7	0,923	0,851	+0,7	1,084	1,175
-0,8	0,912	0,832	+0,8	1,096	1,202
-0,9	0,902	0,813	+0,9	1,109	1,230
-1	0,891	0,794	+1	1,122	1,259
-2	0,794	0,531	+2	1,259	1,585
-3	0,708	0,501	+3	1,413	1,995
-4	0,531	0,398	+4	1,585	2,512
-5	0,562	0,316	+5	1,778	3,163
-6	0,501	0,251	+6	1,995	3,981
-7	0,447	0,200	+7	2,239	5,012
-8	0,398	0,159	+8	2,512	6,310
-9	0,355	0,126	+9	2,818	7,943
-10	0,316	0,100	+10	3,162	10,000
-20	0,100	0,010	+20	10,000	100,000
-30	0,0316	0,001000	+30	31,623	1000,0
-40	0,01000	10^{-4}	+40	100,00	10^4
-50	0,00316	10^{-5}	+50	316,23	10^5
-60	0,00100	10^{-6}	+60	1000,0	10^6
-70	0,0003162	10^{-7}	+70	3162,3	10^7
-80	0,0001000	10^{-8}	+80	10000,0	10^8
-90	0,0000316	10^{-9}	+90	31623,0	10^9
-100	10^{-5}	10^{-10}	+100	10^5	10^{10}

Таблицы П.6.2, П.6.3

ЗНАЧЕНИЯ МОЩНОСТИ
ОТНОСИТЕЛЬНО УРОВНЯ МОЩНОСТИ 1 Вт

Мощность, Вт	Отношение, дБ/Вт
0,001	-30
0,01	-20
0,1	-10
0,5	-3
1	0
2	3
5	7
10	10
20	13
25	14
50	17
100	20
200	23
400	26
1000	30
1500	31,75

ЗНАЧЕНИЯ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ
ОТНОСИТЕЛЬНО УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ 1 В ИЛИ ТОКА 1 А

Напряжение, В; Ток, А	Отношение, дБ/В, дБ/А
0,001	-60
0,01	-40
0,1	-20
0,5	-6
1	0
2	6
5	14
10	20
20	26
25	28
50	34
100	40
200	46
400	52
1000	50

ПОТЕРИ МОЩНОСТИ ПРИ КСВ В АНТЕННО-ФИДЕРНОЙ СИСТЕМЕ

При КСВ в фидерном тракте происходит отражение части мощности от нагрузки к передатчику. Не всегда удается добиться КСВ = 1 и часто КСВ сильно отличается от этого значения. В табл. П.6.4 показаны потери мощности, происходящие при различном КСВ в фидерном тракте. Столбец «Реальная выходная мощность» показывает, какая часть мощности передатчика рассеивается на несогласованной нагрузке. Столбец «Потери мощности» показывает, сколько процентов мощности передатчика теряется в кабеле при отражениях. Столбец «Потери мощности» показывает отношение поглощаемой нагрузкой и теряемой мощности.

Таблица П.6.4

ПОТЕРИ МОЩНОСТИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ РАЗЛИЧНОМ КСВ

КСВ антенно-фидерной системы	Потери мощности, %	Реальная выходная мощность, %	Потери мощности, дБ
1:1,0	0,00	100,0	0,00
1:1,1	0,23	99,8	-0,01
1:1,2	0,83	99,2	-0,04
1:1,3	1,70	98,3	-0,08
1:1,4	2,78	97,2	-0,12
1:1,5	4,00	96,0	-0,18
1:1,6	5,33	94,5	-0,25
1:1,7	6,72	93,7	-0,28

Таблица П.6.4
(Окончание)

КСВ антенно-фидерной системы	Потери мощности, %	Реальная выходная мощность, %	Потери мощности, дБ
1:1,8	8,16	91,8	-0,37
1:1,9	9,53	90,4	-0,44
1:2,0	11,1	88,9	-0,51
1:2,2	14,1	85,9	-0,66
1:2,4	17,0	83,0	-0,81
1:2,6	19,8	80,2	-0,96
1:2,8	22,4	77,6	-1,10
1:3,0	25,0	75,0	-1,25
1:3,5	30,9	69,1	-1,61
1:4,0	36,0	64,0	-1,94
1:5,0	44,4	55,6	-2,55
1:7,0	56,3	43,7	-3,60
1:10,0	67,0	33,0	-4,81
1:20,0	81,9	18,1	-7,42
1:50,0	92,3	7,7	-11,10

Эта таблица не учитывает активных потерь в кабеле, которые обычно происходят при использовании реального коаксиального кабеля. Эти потери «улучшают» показания КСВ-метра, но реальные потери при этом будут выше приведенных в табл. П.6.4.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГЛОЩАЕМОЙ МОЩНОСТИ

Многие радиолубители имеют в своей лаборатории ВЧ-вольтметры или ВЧ-ваттметры. При наличии активной нагрузки необходимой мощности сопротивлением 50 Ом или согласованной антенны с таким же сопротивлением несложно определить поглощаемую ею мощность. Для этого необходимо измерить высокочастотное напряжение на антенне или потребляемый ею ток.

Таблица П.6.5

ПЕРЕВОД НАПРЯЖЕНИЙ, ИЗМЕРЕННЫХ НА НАГРУЗКЕ 50 ОМ, В ПОГЛОЩАЕМУЮ ЕЮ МОЩНОСТЬ

Значение мощности, Вт	Показания вольтметра, В	Значение мощности, Вт	Показания вольтметра, В
0,1	2,23	3,0	12,25
0,2	3,16	4,0	14,14
0,3	3,87	5,0	15,81
0,4	4,47	6,0	17,32
0,5	5,0	7,0	18,7
0,6	5,47	8,0	20,0
0,7	5,91	9,0	21,21
0,8	6,32	10,0	22,36
0,9	6,7	15,0	27,39
1,0	7,07	20,0	31,32
2,0	10,0	25,0	35,36

Таблица П.6.6

ЗНАЧЕНИЯ ТОКА В НАГРУЗКЕ 50 Ом В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОГЛОЩАЕМОЙ ЕЮ МОЩНОСТИ

P, Вт	0,1	0,25	0,5	0,8	1	2	3	4	5	6	7
I, А	0,044	0,07	0,1	0,126	0,14	0,2	0,24	0,28	0,32	0,34	0,37
P, Вт	8	9	10	20	30	40	50	60	70	80	100
I, А	0,4	0,42	0,45	0,63	0,77	0,89	1	1,1	1,18	1,26	1,41

В табл. П.6.5 показан перевод напряжения, измеренного на нагрузке, в поглощаемую ею мощность, в табл. П.6.6 — значения тока в нагрузке сопротивлением 50 Ом в зависимости от поглощаемой ею мощности.

Приложение 7

ПОЛЕЗНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Приведенные ниже сведения помогут самостоятельно рассчитать параметры резонансного контура, определить конструктивные параметры катушек. С помощью таблиц частот можно перевести частоту в длину волны на основных точках работы любительских диапазонов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Часто необходимо определить значение реактивного сопротивления блокировочного конденсатора или катушки индуктивности, включенной в цепь переменного тока. Быстро и с достаточной степенью точности это можно сделать с помощью графика, показанного на рис. П.7.1.

В табл. П.7.1 приведены значения индуктивности однослойной катушки в зависимости от числа витков, содержащихся в ней, и длин ее намотки в сантиметрах. Например, катушка диаметром 3 см, длиной намотки 4 см и числом витков 30 будет иметь индуктивность 15,14 мкГн. Значения индуктивностей, представленные в таблице, хорошо согласуются с практически выполненными по этим данным катушкам.

Таблица П.7.1

ЗНАЧЕНИЯ ИНДУКТИВНОСТИ ОДНОСЛОЙНОЙ КАТУШКИ

n\l	Диаметр катушки D = 1,8 см					Диаметр катушки D = 2,0 см				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
5	0,618	0,448	0,351	0,288	0,245	0,714	0,526	0,417	0,345	0,294
10	2,473	1,790	1,403	1,153	0,979	2,857	2,105	1,667	1,379	1,176
15	5,565	4,028	3,156	2,594	2,202	8,429	6,737	5,350	4,303	3,647
20	9,893	7,160	5,610	4,612	3,915	11,43	9,421	7,667	6,217	5,206
30	22,26	16,11	12,62	10,38	8,810	25,71	18,95	15,00	12,41	10,59
50	61,83	44,75	35,06	28,83	24,47	71,43	52,83	41,67	34,48	29,41

Таблица П.7.1
(Окончание)

n\l	Диаметр катушки D = 2,5 см					Диаметр катушки D = 3,0 см				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
5	0,735	0,500	0,379	0,305	0,255	0,957	0,672	0,517	0,421	0,354
10	2,941	2,000	1,515	1,220	1,020	3,830	2,687	2,069	1,682	1,417
15	6,618	4,500	3,409	2,744	2,296	8,617	6,045	4,655	3,785	3,189
20	11,76	8,000	6,061	4,878	4,082	15,32	10,76	8,276	6,729	5,669
30	26,47	18,00	13,64	10,88	9,184	34,47	24,18	18,62	15,14	12,76
50	73,53	50,00	37,88	30,49	25,51	95,74	67,16	51,72	42,08	35,43
n\l	Диаметр катушки D = 4,0 см					Диаметр катушки D = 5,0 см				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
5	1,429	1,053	0,833	0,690	0,588	1,923	1,471	1,190	1,000	0,862
10	5,714	4,211	3,333	2,759	2,353	7,692	5,882	4,762	4,000	3,448
15	12,86	9,474	7,500	6,207	5,294	17,31	13,24	10,71	9,000	7,759
20	22,86	16,84	13,33	11,03	9,412	30,77	23,53	19,05	16,00	13,79
30	51,43	37,89	30,00	24,83	21,18	89,23	52,94	42,86	36,00	31,03
50	142,9	105,3	83,33	68,97	58,82	192,3	147,1	119,0	100,0	86,21

При самостоятельном изготовлении высокочастотных устройств часто необходимо рассчитать конструктивные данные контуров по известной частоте их работы. Использование формулы для определения индуктивности и емкости иногда не совсем удобно. Для этого можно пользоваться таблицей П.7.2. В ней указаны значения произведения LC , где L — индуктивность, мкГн, C — емкость, пФ. Например, для работы на частоте 10 МГц произведение LC должно составлять 253,3. Это значение может дать умножение индуктивности 5 мкГн на емкость контура 50 пФ. Конструктивное выполнение катушек можно определить, используя табл. П.7.1.

Таблица П.7.2

ЗНАЧЕНИЯ LC

F	LC	F	LC	F	LC	F	LC	F	LC
0,5	101320	1,8	7618	6	703,6	15	112,6	24	43,98
0,8	70361	2,0	6333	7	516,9	16	98,95	25	40,53
0,7	51694	2,5	4053	8	395,8	17	87,65	26	37,47
0,8	39578	3,0	2814	9	312,7	18	78,18	27	34,75
0,9	31272	3,5	2068	10	253,3	19	70,17	28	32,31
1,0	25330	4,0	1583	11	209,3	20	63,33	29	30,12
1,2	17590	4,5	1251	12	175,9	21	57,44	30	28,14
1,4	12923	5,0	1013	13	149,9	22	52,33	31	26,36
1,6	9895	5,5	837,4	14	129,2	23	47,88	32	24,74

ОДНОВИТКОВАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ

Радиолюбители обычно самостоятельно изготавливают магнитные рвмочные антенны (рис. П.7.2а), автогенераторы УКВ (рис. П.7.2б), работающие на передачу без антенны, приемники УКВ (рис. П.7.2в), использующие на своем входе настроенную УКВ антенну. Основой этих устройств является одновитковая петля. Знание индуктивности петли позволит конструировать эти устройства с меньшими затратами усилий на их ввстройку. Индуктивность одновитковой круглой петли можно определить из графиков, приведенных на рис. П.7.3. Рассчитав с помощью известных формул резонансную частоту контура, образованного петлей и контурной емкостью, можно выполнять резонансные цепи. Следует учесть, что с повышением диаметра материала, из которого выполнена петля, ее индуктивность понижается.

Радиус петли с индуктивностью, указанной на графиках рис. П.7.3, измерен по центру оси симметрии петли.

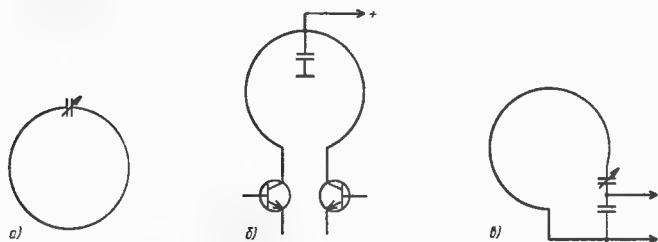


Рис. П.7.2. Применение одновитковой петли

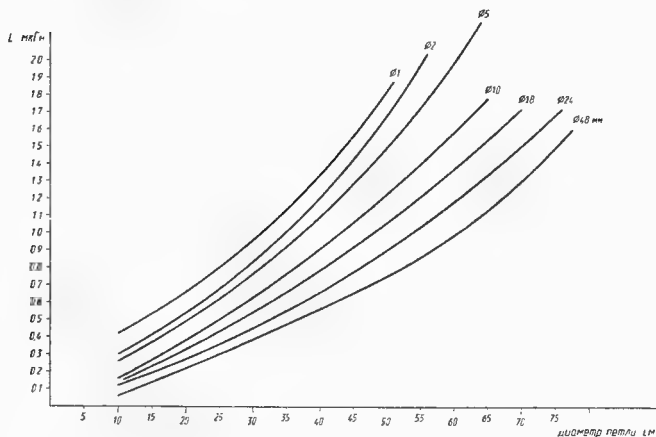


Рис. П.7.3. Индуктивность одновитковой круглой петли

ПОЛЕЗНЫЕ ФОРМУЛЫ

Радиолюбителям в своей конструкторской деятельности часто приходится пользоваться простейшими формулами для определения различных физических величин. Наиболее часто употребляемые расчетные формулы приведены ниже.

Сокращения, используемые в радиотехнике

$$\Gamma = \text{гига} = 10^9$$

$$\text{м} = \text{милли} = 10^{-3}$$

$$\text{М} = \text{мега} = 10^6$$

$$\text{мк} = \text{микро} = 10^{-6}$$

$$\text{к} = \text{кило} = 10^3$$

$$\text{н} = \text{нано} = 10^{-9}$$

$$\text{п} = \text{пико} = 10^{-12}$$

Закон Ома для электрической цепи

$$U = IR;$$

$$P = UI;$$

$$P = I^2 R;$$

$$I = \frac{U}{R};$$

$$P = \frac{U^2}{R};$$

$$R = \frac{U}{I}.$$

Закон Ома для цепи, работающей на переменном токе

$$X_L = \omega L = 2\pi fL;$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi f};$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC};$$

$$C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{2\pi fX_C};$$

$$X_L = \frac{Lf}{0,1592};$$

$$X_C = \frac{159200}{Cf};$$

$$C = \frac{159200}{X_C f}.$$

[Ом, МГц, мкГн, нФ]

Формулы для определения резонансной частоты контуров и значений его элементов на резонансной частоте

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(2\pi f)^2 C};$$

$$C = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{(2\pi f)^2 L};$$

$$L = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}};$$

[Гц, Гн, пФ]

$$L \approx \frac{25330}{f^2 C};$$

$$C = \frac{25330}{f^2 L};$$

$$f = \frac{159,2}{\sqrt{LC}};$$

[МГц, мкГн, пФ]

$$L = \frac{2,533 \cdot 10^7}{f^2 C};$$

$$C = \frac{2,533 \cdot 10^7}{f^2 L};$$

$$f = \frac{5033}{\sqrt{LC}}.$$

[кГц, мГн, пФ]

Переход от отношений электрических величин к их логарифмам

$$-dB_{U1} = 20 \lg \frac{U1}{U2} = 20 \lg \frac{I1}{I2};$$

$$-dB_P = 10 \lg \frac{P1}{P2};$$

$$+dB_{U1} = 20 \lg \frac{U2}{U1} = 20 \lg \frac{I2}{I1};$$

$$+dB_P = 10 \lg \frac{P2}{P1}.$$

Формулы для определения длины волны при известной частоте

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2,99792458 \cdot 10^8}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{\lambda}; \quad \lambda = \frac{c}{f} = \frac{2,99792458 \cdot 10^8}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f}; \quad c = f \lambda;$$

[Гц, м]

$$f = \frac{300}{\lambda}; \quad \lambda = \frac{300}{f}.$$

[(МГц, м) или (кГц, км)]

$$f = \frac{300000}{\lambda}; \quad \lambda = \frac{300000}{f}.$$

[(Гц, км) или (кГц, м), или (МГц, мм)]

$$T = \frac{1}{f}; \quad f = \frac{1}{T}; \quad T f = 1.$$

[(Гц, с) или (кГц, мс), или (МГц, мкс)]

Формулы для определения индуктивности катушки (рис. П.7.4)

$$b \geq \frac{\bar{D}}{2}; \quad L = \frac{0,2 \bar{D}^2 n^2}{9 \bar{D} + 20 b};$$

$$b \leq \frac{\bar{D}}{2}; \quad L = \frac{0,1 \bar{D}^2 n^2}{4 \bar{D} + 11 b}.$$

L — индуктивность, мкГн;

b — длина намотки, см;

$\bar{D}$ — средний диаметр витков, см;

n — общее число витков катушки;

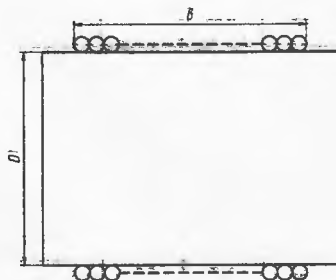


Рис. П.7.4. Однослойная катушка индуктивности

Таблица П.7.3

ПЕРЕВОД ЧАСТОТЫ В ДЛИНУ ВОЛНЫ

F , кГц	1810	1830	1900	1950	2000		
λ , м	165,74	163,93	157,89	153,84	150,0		
$\lambda/2$, м	82,87	81,96	78,94	76,92	75		
$\lambda/4$, м	41,43	40,98	39,47	38,46	37,5		
F , кГц	3500	3560	3600	3620	3650		
λ , м	85,71	84,27	83,33	82,87	82,19		
$\lambda/2$, м	42,85	42,13	41,66	41,44	41,09		
$\lambda/4$, м	21,42	21,07	20,23	20,71	20,54		
F , кГц	3700	3750	3800				
λ , м	81,08	80	78,94				
$\lambda/2$, м	40,54	40	39,47				
$\lambda/4$, м	20,27	20	19,73				
F , кГц	7000	7030	7060	7100			
λ , м	42,85	42,67	42,49	42,25			
$\lambda/2$, м	21,43	21,33	21,24	21,12			
$\lambda/4$, м	10,71	10,66	10,62	10,56			
F , кГц	10100	10130	10150				
λ , м	29,7	29,61	29,55				
$\lambda/2$, м	14,85	14,8	14,77				
$\lambda/4$, м	7,42	7,4	7,38				
F , кГц	14000	14020	14050	14100	14200	14250	14350
λ , м	21,42	21,39	21,35	21,27	21,12	21,05	20,9
$\lambda/2$, м	10,71	10,7	10,67	10,84	10,56	10,52	10,45
$\lambda/4$, м	5,35	5,35	5,34	5,32	5,28	5,26	5,22
F , кГц	18068	18100	18150	18250	18318		
λ , м	16,6	16,57	16,53	16,44	16,37		
$\lambda/2$, м	8,3	8,28	8,26	8,22	8,18		
$\lambda/4$, м	4,15	4,14	4,13	4,11	4,1		

Таблица П.7.3
(Окончание)

F , кГц	21000	21060	21150	21250	21300			
λ , м	14,28	14,24	14,18	14,12	14,08	13,98		
$\lambda/2$, м	7,14	7,12	7,09	7,06	7,04	6,99		
$\lambda/4$, м	3,57	3,56	3,54	3,53	3,52	3,49		
F , кГц	24890	24920	24950	25000	25140			
λ , м	12,05	12,03	12,02	12,0	11,93			
$\lambda/2$, м	6,02	6,02	6,01	6,0	5,98			
$\lambda/4$, м	3,01	3,01	3,0	3,0	2,96			
F , кГц	26000	26250	26500	26750	27000	27250	27500	27800
λ , м	11,54	11,43	11,32	11,21	11,11	11,10	10,9	10,79
$\lambda/2$, м	5,77	5,71	5,66	5,6	5,55	5,5	5,45	5,39
$\lambda/4$, м	2,88	2,85	2,83	2,8	2,77	2,75	2,72	2,69
F , кГц	28000	28050	28200	28800	29200	29900		
λ , м	10,71	10,69	10,63	10,41	10,27	10,03		
$\lambda/2$, м	5,35	5,35	5,32	5,21	5,13	5,02		
$\lambda/4$, м	2,87	2,67	2,66	2,6	2,57	2,51		
F , кГц	50000	51000	52000	53000	54000			
λ , м	6	5,88	5,77	5,66	5,55			
$\lambda/2$, м	3	2,94	2,88	2,83	2,77			
$\lambda/4$, м	1,5	1,47	1,44	1,41	1,36			
F , кГц	144,0	144,2	144,5	145,0	145,5	146,0		
λ , м	2,083	2,08	2,076	2,068	2,062	2,054		
$\lambda/2$, м	1,041	1,04	1,038	1,034	1,031	1,027		
$\lambda/4$, м	0,5208	0,52	0,519	0,517	0,515	0,513		